



Departamento de Ingeniería Mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

Modelado y propuesta de simulación: creación de  
piezas e integración en el conjunto del Bogie Y21  
usando el Creo Elements/Pro

Autor: Simón Madrigal Comba

Tutor: Juan Carlos García Prada

Leganés, octubre 2015



**Título:** Modelado y propuesta de simulación: creación de piezas e integración en el conjunto del Bogie Y21 usando el Creo Elements/Pro

**Autor:** Simón Madrigal Comba

**Director:** Juan Carlos García Prada

### EL TRIBUNAL

**Presidente:** \_\_\_\_\_

**Vocal:** \_\_\_\_\_

**Secretario:** \_\_\_\_\_

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día \_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE





# Agradecimientos

Quisiera agradecer el apoyo incondicional de mi familia, en especial el de mis padres, que me han dado la oportunidad de ser lo que soy, sin ellos nunca lo habría conseguido. A mi hermana, porque ha sabido entenderme mejor que yo durante estos años.

Gracias, cariño, por compartir miedos y alegrías, ha sido todo más fácil a tu lado.

A mis amigos, que me han dado ánimos y con los que he podido compartir sueños e ilusiones, golpes y reveses que nos han unido más.

A mis compañeros, con los que sin su colaboración y trabajo habría sido infinitamente más complicado todo.

A los profesores, por enseñar no sólo por teoría y práctica, sino por transmitir la entrega y el entusiasmo que nos ayudarán a resolver cualquier problema futuro. En especial a Juan Carlos por su ayuda, dedicación, y por darme la oportunidad de trabajar juntos en este proyecto.



# Resumen

En el presente proyecto “Modelado y Propuesta de Simulación: Creación de Piezas e Integración en el Conjunto del Bogie Y21 usando el Creo Elements/Pro” se podrá encontrar el análisis y los fundamentos teóricos necesarios usados para poder dar forma y conseguir transferir un conjunto mecánico complejo como un bogie a un modelo en un entorno de simulación y ensayo.

Utilizando las posibilidades del software empleado para recrear los componentes mecánicos, sus interacciones y sus herramientas para poder definir el conjunto y sus condiciones de contorno, estaremos en disposición de recrear e investigar su comportamiento en distintos escenarios.

De las distintas partes que componen este proyecto y de los conocimientos adquiridos se podrán realizar estudios posteriores con distintas aproximaciones de simulación en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III y utilizar sus conclusiones y logros para plantear mejoras o avanzar en la comprensión y el análisis de este apartado del campo ferroviario.

# Palabras clave

Bogie Y21, modelado, análisis, cargas, Creo Elements, simulación.



# Abstract

In the current project “Modelado y Propuesta de Simulación: Creación de Piezas e Integración en el Conjunto del Bogie Y21, Usando el Creo Elements/Pro” it can be found the analysis and the theoretical basis, both necessary, used to give shape to a complex mechanical ensemble as a bogie is, and become a consistent model in a simulation and test setting.

Making the most of the software features, the mechanical components are reproduced, as well as their interactions, and using software tools to define the assembly and boundary conditions we will be in a position to recreate and research the assembly performance in different circumstances.

Using several parts of this project and the achieved body knowledge, further studies can be carried out with multiple simulation approaches in the Mechanical Engineering Department at Carlos III University and from the project conclusions and results set out new improvements or try to progress in understanding and better analysis of this part of field of railways.

# Keywords

Bogie Y21, modelling, analysis, load, Creo Elements, simulation.



## **ÍNDICE**

### **1. Introducción**

1.1 Alcance y objetivos .....	1
1.2 Estructura del documento .....	2

### **2. Bogie Y21**

2.1 Historia .....	4
2.2 Componentes .....	5

### **3. Creo Elements**

3.1 Presentación .....	8
3.2 Funciones .....	9
3.3 Entorno .....	10

### **4. Modelado de piezas**

4.1 Introducción .....	11
4.2 Bastidor .....	15
4.2.1 Lateral .....	17
4.2.2 Frontal .....	22
4.2.3 Lateral opuesto .....	28
4.2.4 Frontal opuesto .....	34
4.2.5 Central/travesaño .....	39
4.2.6 Enlace Caja de Grasa .....	49
4.3 Caja de Grasa .....	68
4.4 Eje-rueda .....	78
4.5 Eslabón .....	91
4.6 Tope del muelle .....	93

### **5. Integración en el conjunto**

5.1 Raíl .....	98
5.2 Conjunto Y21 .....	100
5.2.1 Paso 1-Masa piezas .....	101
5.2.2 Paso 2-Montaje .....	102
5.2.3 Paso 3-Comprobar movimiento .....	109
5.2.4 Paso 4-Comprobar conexiones .....	110
5.2.5 Paso 5-Levas .....	113

5.2.6 Paso 6-Muelles .....	115
5.2.7 Paso 7-Amortiguadores .....	117
5.2.8 Paso 8-Gravedad .....	119
5.2.9 Paso 9-Fricción .....	120
<b>6. Análisis de conjunto .....</b>	<b>121</b>
<b>7. Conclusiones y trabajos futuros .....</b>	<b>124</b>
<b>8. Presupuesto .....</b>	<b>125</b>
<b>9. Bibliografía</b>	
9.1 Libros y publicaciones .....	126
9.2 Documentos electrónicos .....	127
<b>10. Anexos .....</b>	<b>128</b>
Anexo A: Plano de conjunto Bogie Y21	
Anexo B: Archivos creados con el programa CREO	



## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1 Bogie Y21 utilizado en plataforma portacontenedor RENFE .....	5
Figura 2.2 Pivote y superficies de fricción en el Enlace Caja de Grasa .....	7
Figura 3.1 Interfaz de diseño CREO .....	10
Figura 4.1 BASTIDOR .....	11
Figura 4.2 CAJA DE GRASA .....	12
Figura 4.3 EJE-RUEDA .....	12
Figura 4.4 ESLABÓN .....	13
Figura 4.5 TOPE DEL MUELLE .....	13
Figura 4.6 Tres planos de dibujo y origen de coordenadas .....	14
Figura 4.7 Sección lateral .....	15
Figura 4.8 Sección frontal .....	15
Figura 4.9 Posibles ejes de simetría del BASTIDOR .....	16
Figura 4.10 Conjunto ENLACE RUEDA .....	17
Figura 4.11 Dibujo LATERAL1 .....	17
Figura 4.12 Extrusión LATERAL1 .....	18
Figura 4.13 Dibujo LATERAL2 .....	18
Figura 4.14 Vaciado LATERAL2 .....	19
Figura 4.15 Extrusión LATERAL3 .....	19
Figura 4.16 Dibujo LATERAL3 .....	20
Figura 4.17 Extrusión LATERAL4 .....	20
Figura 4.18 Extrusión LATERAL5 .....	21
Figura 4.19 Plano DTM1 en rojo .....	22
Figura 4.20 Plano DTM2 en rojo .....	22
Figura 4.21 Plano DTM3 en rojo .....	23
Figura 4.22 Dibujo FRONTAL1 .....	23
Figura 4.23 Extrusión FRONTAL1 .....	24
Figura 4.24 Dibujo FRONTAL2 .....	24
Figura 4.25 Extrusión FRONTAL2 .....	25
Figura 4.26 Plano DTM4 en amarillo, superficie final en rojo .....	25
Figura 4.27 Dibujo FRONTAL3 .....	26
Figura 4.28 Vaciado FRONTAL3 .....	26
Figura 4.29 Detalle dibujo en rojo y vaciado en azul FRONTAL3 .....	27
Figura 4.30 Plano DTM5 en amarillo .....	28
Figura 4.31 Proyección dibujo LATERAL1 .....	28
Figura 4.32 Dibujo LATERAL11 .....	29
Figura 4.33 Extrusión LATERAL11 .....	29
Figura 4.34 Proyección Dibujo LATERAL2 (rojo) sobre plano DTM5 (azul) .....	30
Figura 4.35 Vaciado LATERAL12 .....	30
Figura 4.36 Extrusión LATERAL13 .....	31
Figura 4.37 Dibujo LATERAL14 .....	31
Figura 4.38 Extrusión LATERAL14 .....	32
Figura 4.39 Dibujo LATERAL15 .....	32
Figura 4.40 Extrusión LATERAL15 .....	33
Figura 4.41 Plano DTM6 en rojo .....	34
Figura 4.42 Proyección Dibujo FRONTAL11 (rojo) .....	34
Figura 4.43 Extrusión FRONTAL11 .....	35
Figura 4.44 Proyección con herramienta de simetría .....	35
Figura 4.45 Dibujo FRONTAL12 .....	36
Figura 4.46 Vaciado FRONTAL12 .....	36
Figura 4.47 Plano DTM7 en rojo .....	37

Figura 4.48 Proyección con herramienta de simetría .....	37
Figura 4.49 Dibujo FRONTAL13 .....	38
Figura 4.50 Vaciado FRONTAL13 .....	38
Figura 4.51 Dibujo TRAVSUP1 .....	40
Figura 4.52 Extrusión TRAVSUP1 .....	40
Figura 4.53 Ejes de simetría A15 y A16 .....	41
Figura 4.54 Definición eje A15 .....	41
Figura 4.55 Definición eje A16 .....	42
Figura 4.56 Dibujo TRAVSUP2 .....	42
Figura 4.57 Vaciado TRAVSUP2 .....	43
Figura 4.58 Dibujo TRAVINF1 .....	43
Figura 4.59 Extrusión TRAVINF1 .....	44
Figura 4.60 Dibujo TRAVINF2 .....	44
Figura 4.61 Vaciado TRAVINF2 .....	45
Figura 4.62 Dibujo TRAVINF3 .....	45
Figura 4.63 Extrusión TRAVINF3 .....	46
Figura 4.64 Dibujo TRAVINF4 .....	46
Figura 4.65 Extrusión TRAVINF4 .....	47
Figura 4.66 Dibujo TRAVINF5 .....	47
Figura 4.67 Extrusión TRAVINF5 .....	48
Figura 4.68 Planos DTM8 y DTM9 en rojo .....	49
Figura 4.69 Dibujo ENLACECAJAGRASA1 .....	50
Figura 4.70 Plano DTM10 en amarillo .....	50
Figura 4.71 Proyección ENLACECAJAGRASA1 .....	51
Figura 4.72 Extrusión 1ENLACECAJAEXT .....	51
Figura 4.73 Extrusión 1ENLACECAJINT .....	52
Figura 4.74 Dibujo 1VACENLACEEXT .....	52
Figura 4.75 Extrusión 1VACENLACEEXT .....	53
Figura 4.76 Dibujo 1VACENLACEINT .....	53
Figura 4.77 Vaciado 1VACENLACEINT .....	54
Figura 4.78 Dibujo 1VACENLACELAT .....	54
Figura 4.79 Vaciado 1VACENLACELAT .....	55
Figura 4.80 Plano DTM12 en rojo .....	55
Figura 4.81 Dibujo 1VACENLACELAT2 .....	56
Figura 4.82 Vaciado 1VACENLACELAT2 .....	56
Figura 4.83 Redondeo 1 .....	57
Figura 4.84 Redondeo 2 .....	57
Figura 4.85 Redondeos transición BASTIDOR-enlace .....	58
Figura 4.86 Dibujo 1VACENLACELAT3 .....	58
Figura 4.87 Vaciado 1VACENLACELAT3 .....	59
Figura 4.88 Dibujo 1ENLACELAT51 y 52 .....	59
Figura 4.89 Extrusión 1ENLACELAT51 y 52 en rojo .....	60
Figura 4.90 Antes de Redondeos 3 y 4 .....	60
Figura 4.91 Después de Redondeos 3 y 4 .....	61
Figura 4.92 Dibujo 1ENLACELAT61 .....	61
Figura 4.93 Extrusión 1ENLACELAT61 .....	62
Figura 4.94 Extrusión 1ENLACELAT62 .....	62
Figura 4.95 Antes de Redondeos 5 y 6 .....	63
Figura 4.96 Después de Redondeos 5 y 6 .....	63
Figura 4.97 Dibujo 1VACENLACELAT71 .....	64
Figura 4.98 Vaciado 1VACENLACELAT71 .....	64
Figura 4.99 Dibujo 1ENLACELAT41 .....	65
Figura 4.100 Extrusión 1ENLACELAT41 .....	65

Figura 4.101 Grupo ENLACE1 .....	66
Figura 4.102 Grupo ENLACE2 .....	66
Figura 4.103 Grupo ENLACE3 y ENLACE 4 .....	67
Figura 4.104 Dibujo CAJA DE GRASA .....	68
Figura 4.105 Extrusión CAJA DE GRASA .....	68
Figura 4.106 Dibujo CHAFLÁN1 .....	69
Figura 4.107 Antes de Redondeos 1 y 2 .....	69
Figura 4.108 Después de Redondeos 1 y 2 .....	70
Figura 4.109 Redondeos 3 .....	70
Figura 4.110 Dibujo ENLACE_VERTICAL .....	71
Figura 4.111 Vaciado ENLACE_VERTICAL .....	71
Figura 4.112 Dibujo VACIADO_INF1 .....	72
Figura 4.113 Vaciado VACIADO_INF1 .....	72
Figura 4.114 Proyección dibujo VACIADO_INF1 .....	73
Figura 4.115 Vaciado VACIADO_INF2 .....	73
Figura 4.116 Dibujo PERFIL .....	74
Figura 4.117 Vaciado PERFIL .....	74
Figura 4.118 Antes de Redondeos 4 .....	75
Figura 4.119 Después de Redondeos 4 .....	75
Figura 4.120 Redondeo 5 .....	76
Figura 4.121 Dibujo CAJA MUELLES .....	76
Figura 4.122 Extrusión CAJA MUELLES .....	77
Figura 4.123 Dibujo EJE .....	78
Figura 4.124 Extrusión EJE .....	79
Figura 4.125 Dibujo RUEDAS .....	79
Figura 4.126 Extrusión RUEDAS .....	80
Figura 4.127 Dibujo RUEDA11 .....	80
Figura 4.128 Vaciado RUEDA11 .....	81
Figura 4.129 Dibujo CARAINT11 .....	81
Figura 4.130 Vaciado CARAINT11 .....	82
Figura 4.131 Dibujo CARAINT12 .....	82
Figura 4.132 Vaciado CARAINT12 .....	83
Figura 4.133 Redondeo diámetro interior .....	83
Figura 4.134 Redondeo diámetro exterior .....	84
Figura 4.135 Resultado diseño interior rueda .....	84
Figura 4.136 Dibujo CARAEXT11 .....	85
Figura 4.137 Vaciado CARAEXT11 en rojo .....	85
Figura 4.138 Dibujo CARAEXT12 .....	86
Figura 4.139 Vaciado CARAEXT12 en rojo .....	86
Figura 4.140 Redondeo diámetro interior .....	87
Figura 4.141 Redondeo diámetro exterior .....	87
Figura 4.142 Resultado diseño exterior rueda .....	88
Figura 4.143 Antes de los tres redondeos .....	88
Figura 4.144 Después de los tres redondeos .....	89
Figura 4.145 Operación CHAFLANRAIL1 .....	89
Figura 4.146 Pieza EJE-RUEDA .....	90
Figura 4.147 Dibujo ESLABÓN .....	91
Figura 4.148 Extrusión ESLABÓN .....	92
Figura 4.149 Dibujo TOPE DEL MUELLE .....	93
Figura 4.150 Extrusión TOPE DEL MUELLE .....	93
Figura 4.151 Cáscara TOPE DEL MUELLE .....	94
Figura 4.152 Chaflán TOPE DEL MUELLE .....	94
Figura 4.153 Dibujo Pivote .....	95

Figura 4.154 Extrusión Pivote .....	94
Figura 4.155 Redondeos .....	96
Figura 4.156 Dibujo alojamiento muelle .....	96
Figura 4.157 Extrusión alojamiento muelle .....	97
Figura 5.1 Dibujo del perfil del raíl .....	98
Figura 5.2 Extrusión del raíl .....	99
Figura 5.3 Redondeos cabeza raíl .....	99
Figura 5.4 Definir masa de las piezas .....	101
Figura 5.5 Primer raíl fijo .....	102
Figura 5.6 Posición del segundo raíl .....	103
Figura 5.7 Posición del bogie .....	104
Figura 5.8 Posición de la CAJA DE GRASA .....	105
Figura 5.9 Posición del TOPE DEL MUELLE .....	105
Figura 5.10 Posición del ESLABÓN .....	106
Figura 5.11 Posición del EJE-RUEDA .....	107
Figura 5.12 Conjunto Y21 .....	107
Figura 5.13 Mover conjunto Y21 .....	109
Figura 5.14 Módulo de “Mechanism” .....	110
Figura 5.15 Reconectar .....	111
Figura 5.16 Ejecutar .....	111
Figura 5.17 Resultado Reconectar .....	112
Figura 5.18 Conexión Leva .....	113
Figura 5.19 Definición de Muelle Grande .....	116
Figura 5.20 Definición de Muelle Pequeño .....	116
Figura 5.21 Definición de amortiguador .....	117
Figura 5.22 Definición de gravedad .....	119
Figura 5.23 Fricciones activadas .....	120
Figura 6.1 Tipos de análisis .....	121
Figura 6.2 Activación cargas externas .....	122
Figura 6.3 Medición distancia CAJA DE GRASA-BASTIDOR .....	123
Figura 7.1 Definición de medidas .....	124

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 5.1 Valores de coeficientes de rozamiento eje-caja de grasa .....	107
Tabla 5.2 Valores de coeficientes de rozamiento rueda-raíl .....	114
Tabla 5.3 Valores del coeficiente de amortiguación $\chi$ .....	118

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ALCANCE Y OBJETIVOS**

A partir de un plano de conjunto del Bogie Y21-Pse de CAF-BEASAIN se van a diseñar con el programa CREO algunas de las piezas que lo componen y que son necesarias para posteriormente poder definir el montaje del conjunto, utilizando también dicho programa.

No se van a dar forma a todas y cada una de las piezas que forman el bogie, sino que se crearán las necesarias para poder definir a posteriori los enlaces y las interacciones entre ellas para crear el conjunto. No se puede llegar al nivel de componentes reales que lo forman, ya que con sólo el plano actual como recurso no hay suficiente información, ni de cotas, ni vistas o piezas como para hacerlo de forma precisa. Por tanto, donde no se tengan los datos necesarios se utilizarán simplificaciones que posibiliten crear las piezas y el conjunto.

Una vez creado el conjunto se comprobará mediante una simulación de la acción de la gravedad, que está correctamente definido, es decir, que su comportamiento es el esperado tras la definición de los enlaces y los elementos mecánicos de unión en el bogie.

Una vez determinado el conjunto y comprobado que es válido, permitiría en posteriores estudios evaluar el resultado de la acción de diversos tipos de cargas externas sobre él y analizar su comportamiento frente a éstas.

## **1.2 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO**

El contenido de este proyecto se ha estructurado en los siguientes capítulos:

- Capítulo 1: Introducción. En él se presenta cuál es el alcance y lo que se pretende conseguir, los objetivos. Así como la estructura del documento.
- Capítulo 2: Bogie Y21. Se lleva a cabo una descripción de los orígenes del bogie y de los componentes que lo forman, centrándose en los más importantes para este proyecto y en sus funciones.
- Capítulo 3: Creo Elements. Se explica el funcionamiento del programa empleado: el entorno, sus herramientas de diseño y análisis.
- Capítulo 4: Creación de piezas. Se destacan las piezas necesarias para la representación del bogie. Se van plasmando una tras otra mediante las opciones de modelado del CREO y se profundiza en la definición de cada una de ellas.
- Capítulo 5: Integración en el conjunto. Se describen los pasos necesarios para caracterizar la estructura del bogie y todas las relaciones entre los elementos que lo componen.
- Capítulo 6: Análisis de conjunto. Se lleva a cabo un análisis del Bogie Y21 destacando el comportamiento obtenido de la suspensión del conjunto, así como la visualización del resultado.
- Capítulo 7: Conclusiones y trabajos futuros. Se exponen las conclusiones extraídas de los análisis realizados así como los trabajos que se pueden llevar a cabo en el campo de la simulación.
- Capítulo 8: Presupuesto. Se glosan los costes de la realización del proyecto en distintos apartados según su naturaleza.
- Capítulo 9: Bibliografía. Se listan las fuentes de información para el desarrollo del proyecto y redacción del mismo.

- Capítulo 10: Anexos. Se adjuntan documentos en distintos formatos que complementan el proyecto.



## **2. BOGIE Y21**

### **2.1 HISTORIA**

Fue en Estados Unidos cuando se empezó a utilizar el bogie debido al tipo de curvas de ese país, pero el origen es inglés. Fue ideado por William Chapman en 1797. En 1832 se creó la primera locomotora con un bogie por John B. Jervis y Horatio Allen y tenía dos ejes calados en el bastidor del bogie, así le conferían la posibilidad de girar libremente independiente del cuerpo de la locomotora. Así se mejoró notablemente el comportamiento en curva. En 1841 se le dotó de una suspensión secundaria para el transporte de viajeros, un soporte oscilante inventado por Davenport lo que le proporcionó flexibilidad lateral entre el coche y el bogie. Posteriormente aparecieron diferentes modelos matemáticos que ya han permitido, sobre todo a partir de la inclusión de los ordenadores y su capacidad de cálculo, aproximarse más al comportamiento de los diferentes vehículos ferroviarios. Aumentando la información para mejorar el diseño de dichos vehículos. Desde la posibilidad real de las líneas de alta velocidad, el desarrollo de los bogies ha experimentado un gran empuje dando como resultado vehículos que pueden modificar su paralelismo para adaptarse al trazado de la vía en curva.

Desde un comienzo, cada coche presenta dos bogies, uno en el extremo delantero y otro en el trasero. Esta configuración hoy en vagones de metro así como en el transporte de mercancías, algo que permite soportar grandes cargas.

## **2.2 COMPONENTES**

El bogie es una estructura rodante sobre la que descansa el vagón y que está conectada a él mediante un pivote que permite trazar curvas más cerradas, ya que presenta un movimiento relativo respecto a él. El bogie lo forman, de forma simplificada, dos ejes montados sobre el bastidor con una suspensión denominada “suspensión primaria” que absorbe las cargas debidas al contacto rueda-raíl. Puede presentar una secundaria, entre el vagón y el bogie, aislando al vagón de las vibraciones producidas y proporcionando confort o seguridad, más normal en el transporte de viajeros.



**Figura 2.1 Bogie Y21 utilizado en plataforma portacontenedor RENFE.**

Las principales funciones del bogie se pueden resumir en: transmitir la carga vertical de las ruedas del vehículo a los raíles, guiar el vehículo en la vía, controlar las fuerzas dinámicas debido a irregularidades en la vía, ser el sistema de suspensión y amortiguación, transmitir las fuerzas de aceleración y frenado.

Un bogie está compuesto por una gran cantidad de elementos. Vamos a destacar algunos de los que son los fundamentales para en el funcionamiento del vehículo.

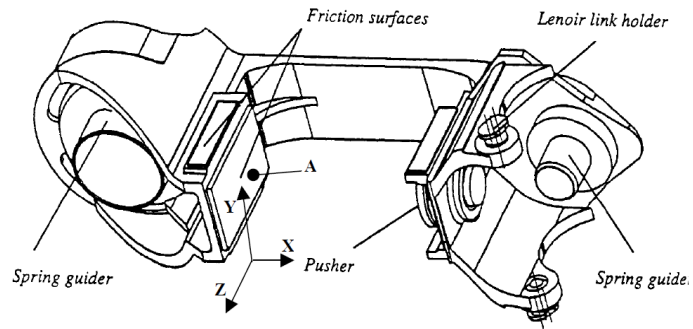
- Eje-Rueda: es una pieza rodante denominado eje calado consistente en dos ruedas unidas por un eje, lo que les confiere la misma velocidad angular. En el eje se centran las fuerzas de apoyo y carga de todo el vehículo, define la distancia constante entre las ruedas. Estas son parte fundamental del comportamiento del contacto con el raíl.

Los ejes calados tienen el problema del desgaste desigual de la rueda al girar en curva por la diferencia en la distancia a recorrer. Para resolverlo, se les da un perfil cónico que dependerá de las características de la vía dando una gran variedad de tipos de ejes calados. En nuestro caso, por simplificación, ya que no es objeto de estudio por parte de este proyecto, el perfil tanto de la rueda como del raíl será recto.

- Bastidor: es una estructura que soporta todos los elementos del bogie, fabricada soldando chapas y perfiles de acero.
- Caja de grasa: sirve de unión entre los extremos del eje y el bastidor. Tiene en su interior cojinetes en contacto con el eje para facilitar la rodadura. Deben estar perfectamente lubricados. Sobre ella se fijan los sistemas de amortiguación y suspensión primaria del bogie. Permite la transmisión de las fuerzas longitudinales, laterales y verticales del eje sobre los otros elementos del bogie. Las fuerzas verticales y longitudinales son transmitidas a través de la superficie interna del cojinete y las fuerzas laterales por sus caras.
- Suspensión: como hemos explicado, los bogies generalmente disponen de dos tipos de suspensión: primaria y secundaria. En los vehículos de mercancías, es común que sólo exista la primaria, también denominada “suspensión de la caja de grasa”. Una parte de ella son los resortes, el elemento elástico, que vuelven a su dimensión original una vez terminada la acción de la fuerza. Existen una gran variedad de elementos elásticos utilizados en la aplicación ferroviaria: resortes de láminas, de placa, de anillo, de torsión, neumático, muelles helicoidales. Para la amortiguación, se utiliza de manera general en el ámbito ferroviario tanto la fricción seca como la viscosa. La fricción seca se produce por el rozamiento relativo de dos cuerpos en contacto. La fuerza de fricción producida puede ser constante o dependiente de la masa de la carrocería del vehículo. La fricción viscosa consiste, de manera general, en un líquido viscoso que fluye por un orificio, disipando así la energía. En el caso de fricción viscosa, la fuerza de amortiguamiento es siempre proporcional a la velocidad.

La suspensión del Bogie Y21 consistente en un juego de pares de resortes helicoidales (con característica bilineal para trabajar en vacío y en carga) y un amortiguador de fricción Lenoir que proporciona amortiguación vertical y

lateral. Las superficies de fricción generan la aparición de fuerzas de rozamiento en la dirección vertical y en la transversal. La fuerza de fricción depende de la carga vertical en el conjunto de resortes, de la que una componente es transferida a la cara de fricción por el pivote inclinado de Lenoir.



**Figura 2.2 Pivote y superficies de fricción en el Enlace Caja de Grasa.**

La amortiguación del movimiento vertical es conseguida mediante el amortiguador de fricción Lenoir, el cual, utiliza una parte del peso propio del vagón para transmitir una carga normal a las superficies de fricción haciendo que la amortiguación varíe en función de la carga.

### **3. CREO ELEMENTS**

#### **3.1 PRESENTACIÓN**

Creo Elements (antes llamado Pro/Engineer Wildfire 5.0) es un software de CAD/CAM/CAE de PTC Corporation (Parametric Technology Corporation). Es capaz de generar el diseño de elementos sólidos, de crear conjuntos y proyectos. Ofrece también la posibilidad de realizar análisis de elementos finitos, CN y posee herramientas de funcionalidad para distintas simulaciones: modelado de superficies, renderización, interoperabilidad de datos, diseño de sistemas dirigidos, simulación, análisis de tolerancias y diseño de mecanizado. Presenta la ventaja de ser asociativo, es decir, integradas todas las fases CAD/CAM/CAE de Creo Elements (CREO) cualquier cambio que se efectúe en el diseño se refleja automáticamente en todos los elementos relacionados: un producto y sus listas de material.

En sus orígenes el CREO fue el primer sistema de diseño 3D CAD paramétrico. La parametrización, como su nombre indica, utiliza parámetros y relaciones en el diseño del comportamiento del producto y facilita el cambio, la modificación automática y la optimización del diseño y de los procesos de prueba y desarrollo del producto. PTC ha evolucionado el programa hasta tener una interfaz gráfica más intuitiva y fácil de manejar.

PTC tiene otras soluciones para el desarrollo de producto como Windchill (gestión de contenidos y procesos), ProductView (simulación avanzada y visualización interactiva), Mathcad (cálculos de Ingeniería) y Arbortext (publicación dinámica).

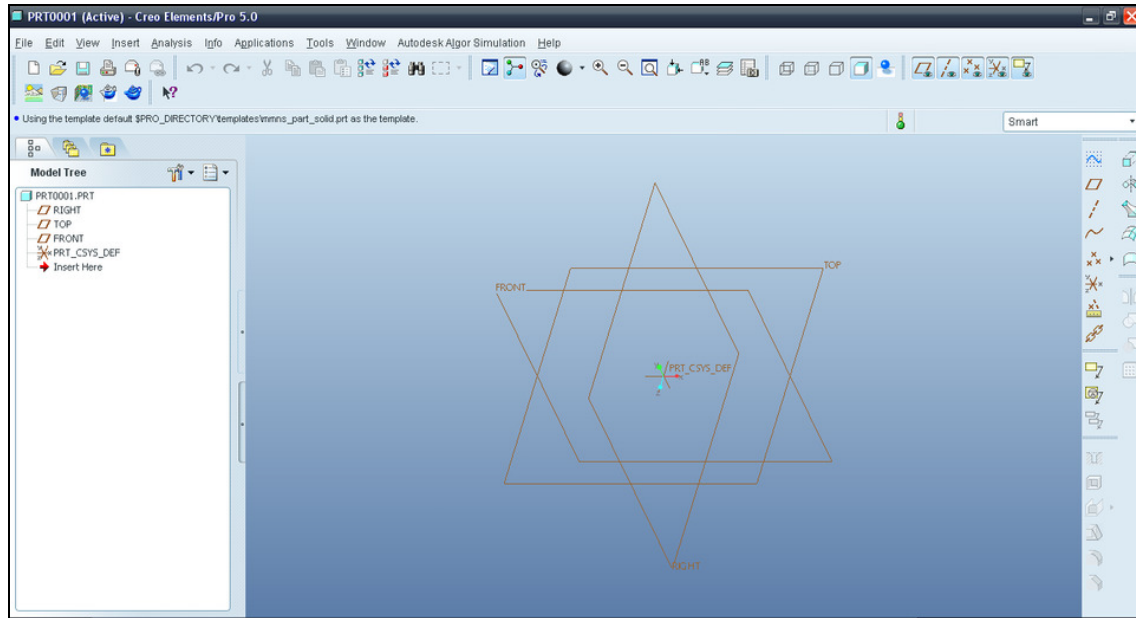
### **3.2 FUNCIONES**

Este software proporciona las siguientes funciones o módulos:

- CAD 3D: permite crear rápidamente productos de gran calidad con una amplia gama de funciones básicas de modelo, creación de planos 2D y 3D, chapa, soldadura y modelado de superficies entre otros.
- Advanced Assembly: presenta la opción de compartir y gestionar datos de diseño de conjuntos con mayor eficiencia utilizando interfaces predefinidas de modelos de esqueleto. Define y automatiza la aplicación de reglas de diseño para que sólo se creen las relaciones adecuadas en el contexto de los diseños, lo que hará que éstos puedan ser modificados y reutilizados con facilidad.
- Interactive Surface Design: presenta la posibilidad de utilizar esbozos de conceptos 2D como referencia visual “aproximada” en la creación de modelos 3D. Conceptualmente se comienza por el desarrollo de la geometría desde cero o a partir de un esbozo, de conjuntos de escaneado o de otros datos de referencia y, a continuación, se desarrollan gradualmente los conceptos hasta obtener un modelo de producción.
- Mechanism Dynamics: obtención de datos precisos del análisis dinámico de muelles, levas, amortiguadores o impactos mediante la incorporación de las masas de inercia reales de los componentes y las fuerzas que actúan sobre y entre ellos. Crea animaciones de mecanismos en acción y permite visualizar cómo las fuerzas dinámicas, la aceleración y la velocidad afectan al modelo del producto digital con la ayuda de flechas de vectores codificadas con colores.
- Piping and Cabling: creación de todos los diagramas de 2D y 3D de cableado y tuberías en una única solución. Cálculo de las propiedades de masa y generación automática de listas de hilos, mazos aplanados y LDM personalizables.
- Behavioral Modeling: evalúa la sensibilidad del modelo para conocer los efectos de los cambios en los objetivos de diseño.
- Sistema de prototipado rápido: otra de las características más interesantes que posee este software es la posibilidad de reproducir modelos y prototipos directamente a partir del modelo sólido en 3D, generando archivos en formato STL.

### **3.3 ENTORNO**

El entorno del programa de CREO nos permite acceder de forma sencilla a múltiples apartados del diseño. Podemos observar en la figura 3.1 la posición de los distintos elementos, herramientas y zonas que forman el espacio de trabajo.



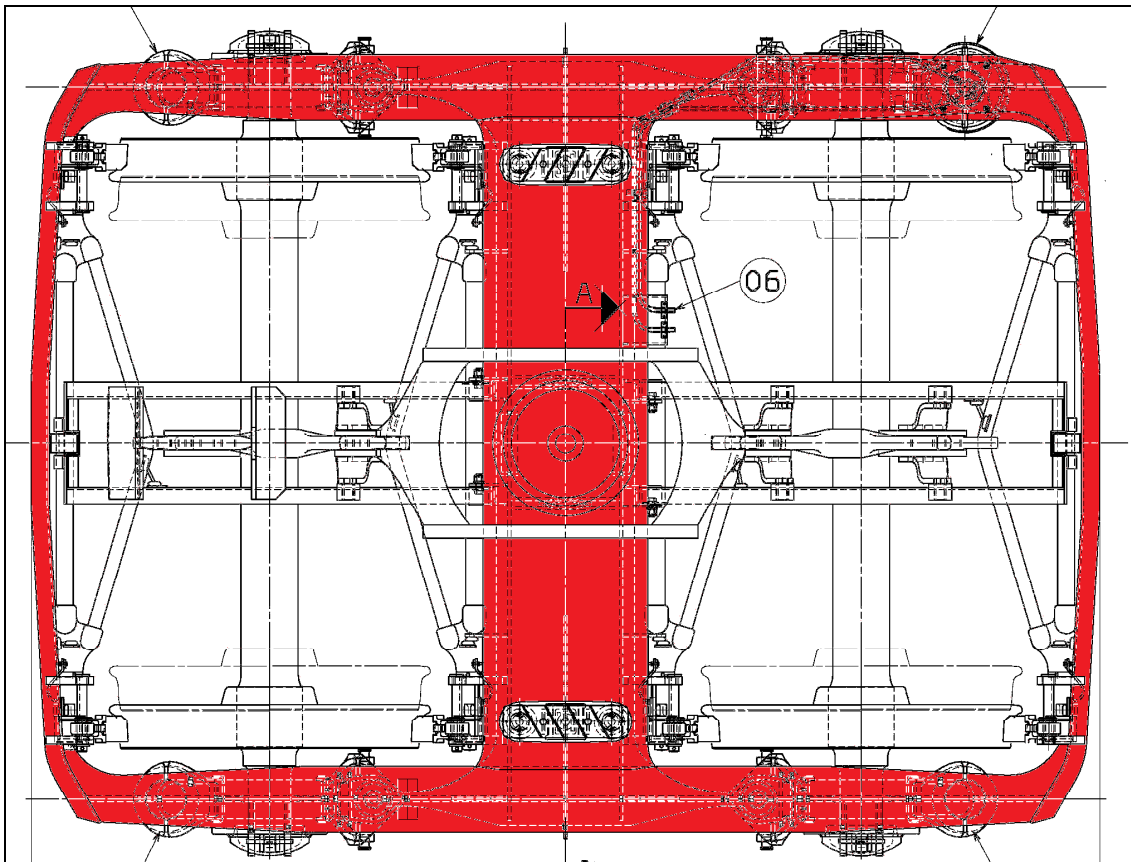
**Figura 3.1 Interfaz de diseño CREO.**

En el centro tenemos la ventana principal de trabajo donde visualizaremos el modelo o las características a editar al definir el modelo. A la izquierda encontramos la parte de navegación donde podremos ver la estructura del modelo con sus operaciones o, si es un conjunto, los distintos modelos que lo componen. En la parte superior tenemos el menú del sistema, donde están todas las opciones del programa en sus distintos menús desplegables. Justo debajo están los iconos de las opciones del sistema más utilizadas y la ventana de mensajes, donde el sistema suministra información sobre el estado de la operación. A la derecha se encuentran las herramientas del sistema donde aparecen en iconos los comandos más habituales como extrusión, vaciado, protrusión por revolución, chaflanes, redondeos, etc.

## **4. MODELADO DE PIEZAS**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

Como se ha explicado en el Alcance y objetivos del proyecto, se van a diseñar con el programa CREO las piezas que componen el conjunto de Bogie Y21 de CAF-BEASAIN usando el plano de conjunto. En total se diseñarán cinco piezas que serán por orden de creación, las siguientes: el BASTIDOR, la CAJA DE GRASA, el EJE-RUEDA, el ESLABÓN y el TOPE DEL MUELLE. En las siguientes figuras está resaltada en el plano cada una de ellas para su identificación.



**Figura 4.1 BASTIDOR.**

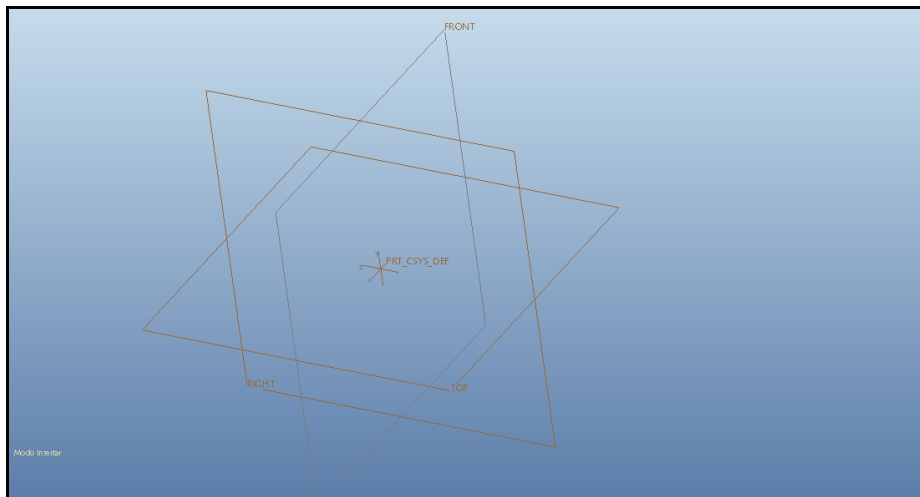






Para la creación de las piezas se ha utilizado el plano en formato impreso y su escala, para obtener las dimensiones de todo aquello que no estuviese acotado. Así como servinos de orientación sin que la reproducción sea exacta en algunos casos ya que no existe acotación. Se ha hecho una interpretación del plano pero sin cambiar la funcionalidad, y siempre respetando las formas que se ven en el mismo.

Para la creación de las piezas se ha utilizado el origen de coordenadas y los tres planos de la herramienta de dibujo (FRONT, TOP y RIGHT). Se ha intentado buscar la simetría en el diseño respecto a ellos y utilizarlos como referencias y ayuda a la acotación, siempre que haya sido posible. En otros casos, se ha intentado orientar el dibujo para facilitar su concepción en cada una de las operaciones.



**Figura 4.6 Tres planos de dibujo y origen de coordenadas.**

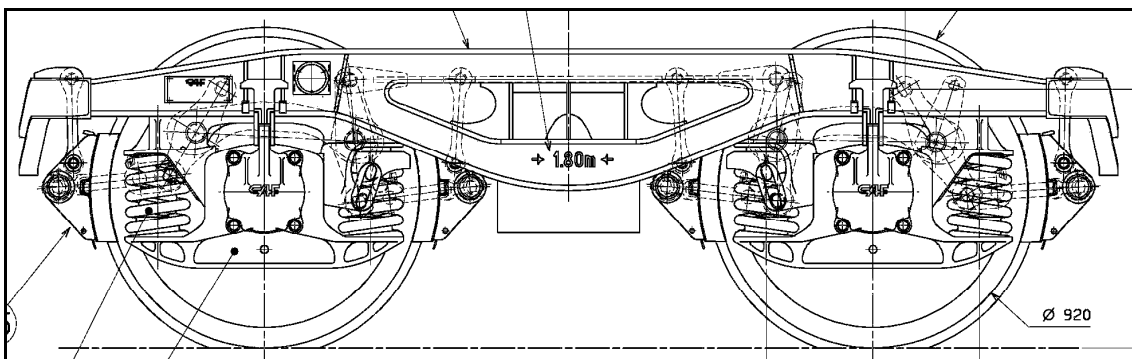
A la hora de plasmar en el proyecto el proceso de creación de las piezas no se van a explicar todas y cada una de las cotas del diseño y el por qué de cada trazo del dibujo. Se explicará la secuencia seguida y el orden de creación, operación por operación, mostrando el dibujo ya realizado y la operación correspondiente en cada caso. Las cotas y los trazos atienden al plano y a la interpretación del mismo, la justificación de cada uno de ellos se cree innecesaria al ser conceptos básicos de dibujo.

Será necesario durante el diseño crear planos y ejes de referencia. Se indicarán su definición durante el proceso.

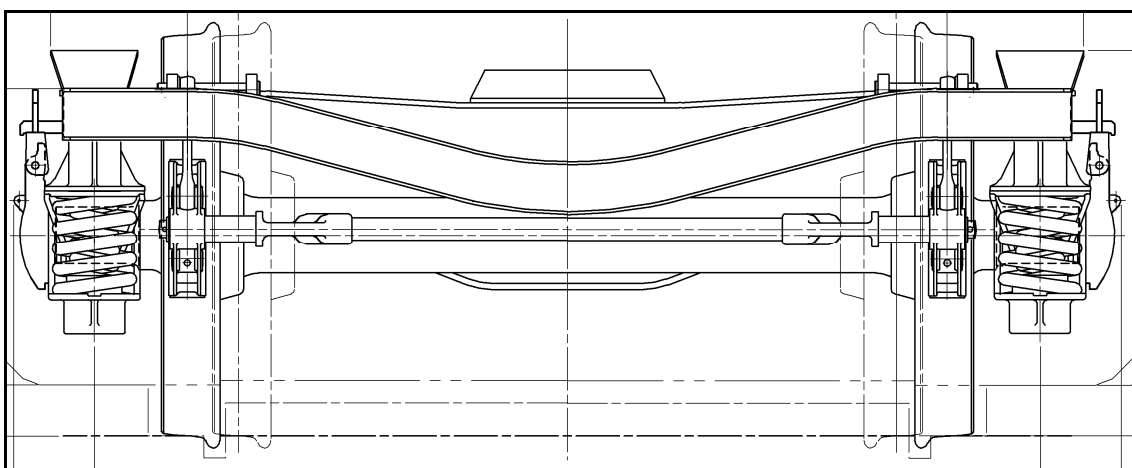
## **4.2 BASTIDOR**

Dada la complejidad de diseño del BASTIDOR será necesario crear una codificación para nombrar las operaciones. Se nombrarán por secciones para poder identificarlas, facilitar la gestión de futuras modificaciones y ordenar la secuencia del diseño, y se utilizarán además unas normas sencillas de numeración dentro de cada una. Las secciones se nombrarán por Lateral, Frontal y Travesaño, y la codificación dentro de cada sección seguirá una numeración ordinal por operación creada.

Para distinguir entre dos operaciones con igual nombre en secciones distintas se utilizará la numeración, asignándole dos dígitos, siendo el primero la decena y el segundo el de la misma operación en una sección ya creada. Ejemplo: sección Lateral, operación 3: sería LATERAL3. La operación 3 pero en el lateral opuesto, sería LATERAL13.

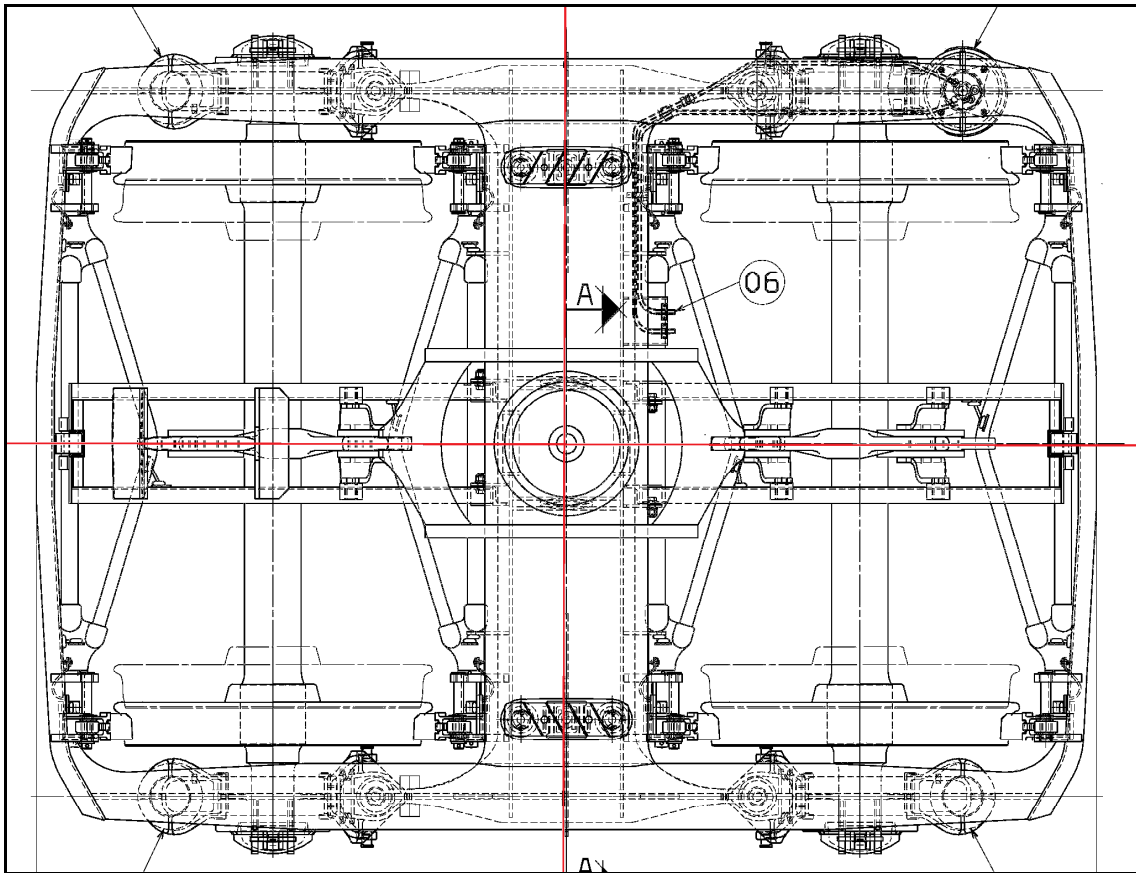


**Figura 4.7 Sección lateral.**



**Figura 4.8. Sección frontal.**

Para diseñar el BASTIDOR, tenemos en cuenta que es simétrico respecta a dos ejes, uno trasversal y otro longitudinal. Por ello definimos una sección Lateral y otra Frontal.

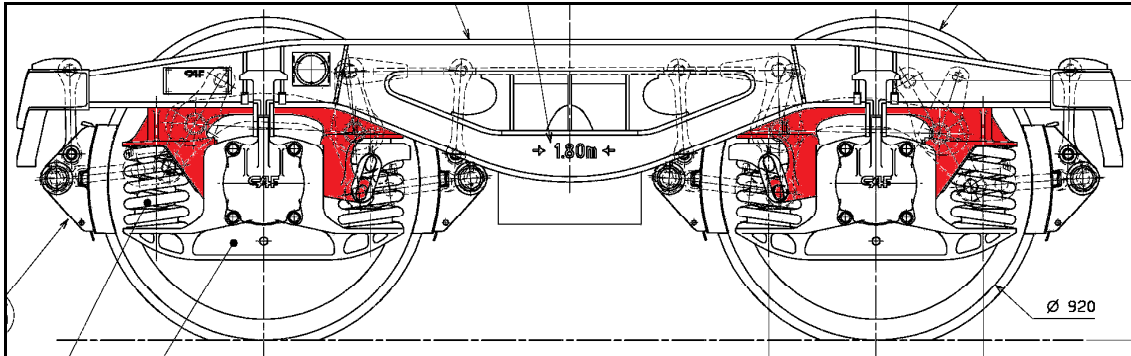


**Figura 4.9 Posibles ejes de simetría del BASTIDOR.**

El BASTIDOR se podría dibujar como un cuarto del conjunto completo y luego utilizar la herramienta de simetría y así crear el total respecto a ambos ejes, pero aunque hagamos una simplificación, sigue teniendo muchas operaciones para darle forma que nos complicarían la simetría, así que optamos por hacer un lateral completo que después sí utilizaremos para hacer su simétrico, esta operación sólo se hará una vez. Aunque para realizar las operaciones no utilizemos la simetría, sí lo haremos a nivel de dibujo en los casos en los que se pueda y así reducir los tiempos de diseño. Se indicará el uso de este recurso en cada apartado.

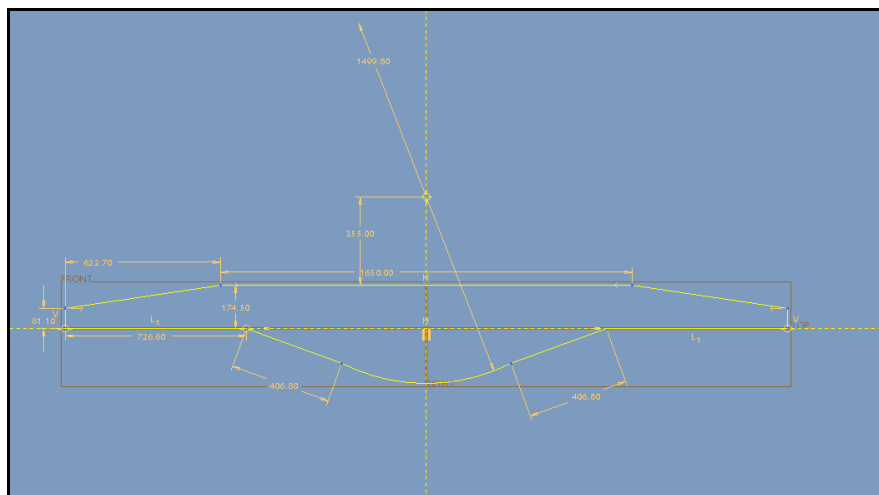
#### **4.2.1 Lateral**

En primer lugar, vamos a diseñar uno de los dos laterales del BASTIDOR que forma la estructura pero sin la parte que llamaremos ENLACE RUEDA. El ENLACE RUEDA es la parte del BASTIDOR que sobresale por la parte inferior de él y que servirá para albergar los muelles y la CAJA DE GRASA. Este ENLACE RUEDA lo crearemos lo último, tras diseñar toda la estructura del BASTIDOR.



**Figura 4.10 Conjunto ENLACE RUEDA.**

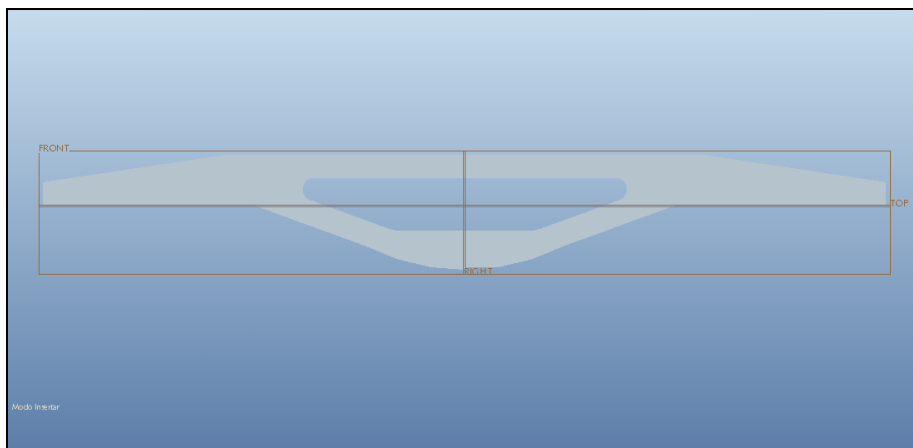
Utilizamos el plano FRONT como plano de dibujo y el TOP y el RIGHT como referencias.



**Figura 4.11 Dibujo *LATERAL*.**

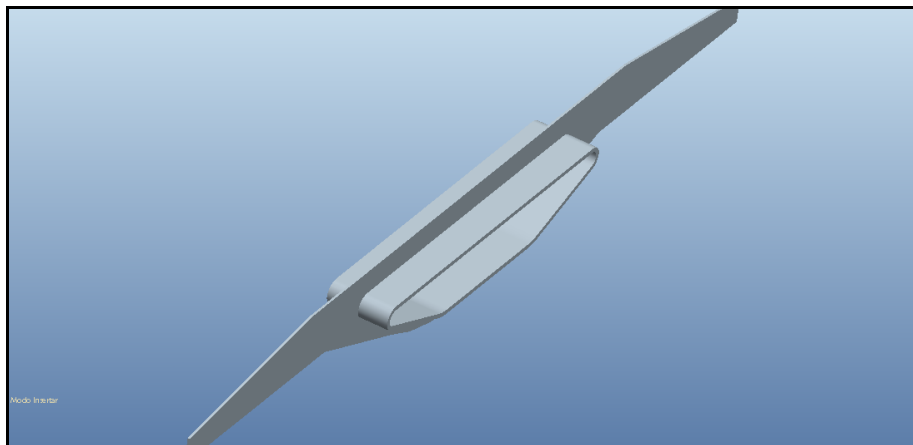
A continuación, creamos una extrusión simétrica *LATERAL* con la profundidad del espesor de las chapas y perfiles del acero que viene en la sección A-A del plano.





**Figura 4.14 Vaciado *LATERAL2*.**

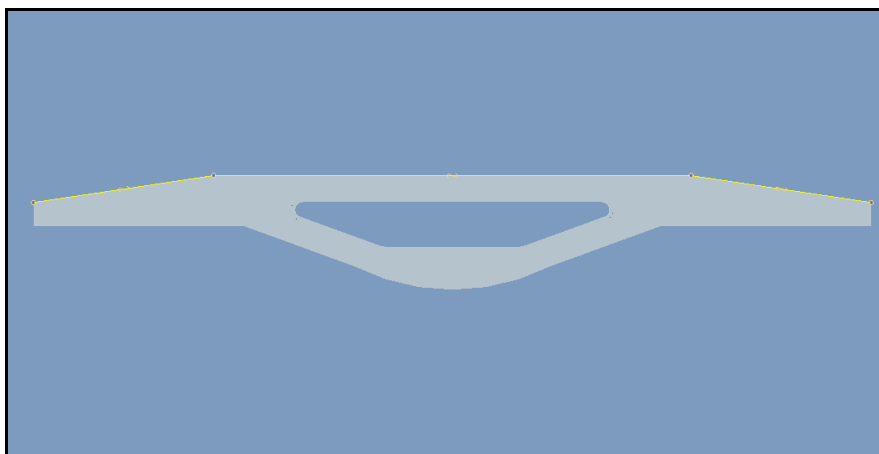
Continuamos con el perfil perpendicular al lateral que rodea el vaciado. Utilizamos el dibujo anterior y creamos una extrusión simétrica definiendo un espesor.



**Figura 4.15 Extrusión *LATERAL3*.**

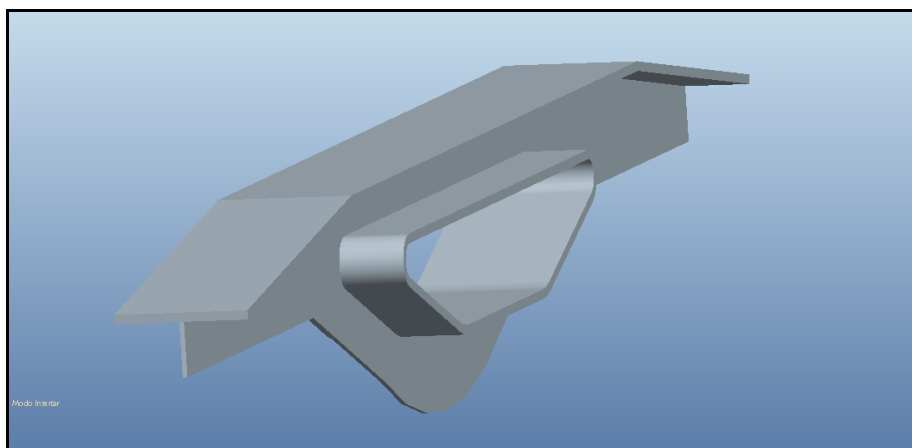
A continuación, crearemos el perfil superior también perpendicular al lateral. Dibujamos en el plano FRONT una línea utilizando el perfil superior ya creado del cuerpo *LATERAL1* mediante una herramienta que define una línea nueva a partir de la arista de un cuerpo ya creado.





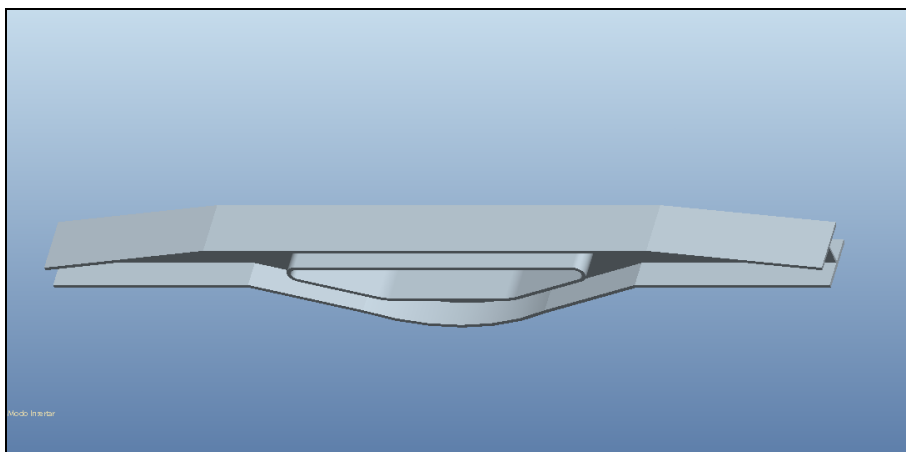
**Figura 4.16 Dibujo *LATERAL3*.**

Creamos la extrusión de la superficie superior como simétrica y con el mismo espesor que hemos definido para todos los perfiles.



**Figura 4.17 Extrusión *LATERAL4*.**

Utilizamos el mismo procedimiento para el perfil inferior creando la extrusión *LATERAL5*.



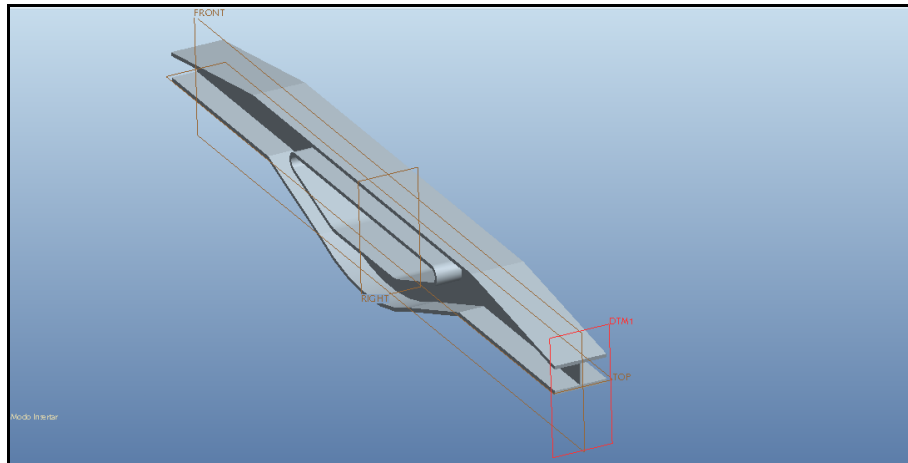
**Figura 4.18 Extrusión *LATERAL5*.**

Ya tenemos el lateral del BASTIDOR. Falta la parte inferior, que sirve de enlace con la rueda pero, como hemos dicho, la diseñaremos tras crear toda la estructura de perfiles del BASTIDOR.

#### **4.2.2 Frontal**

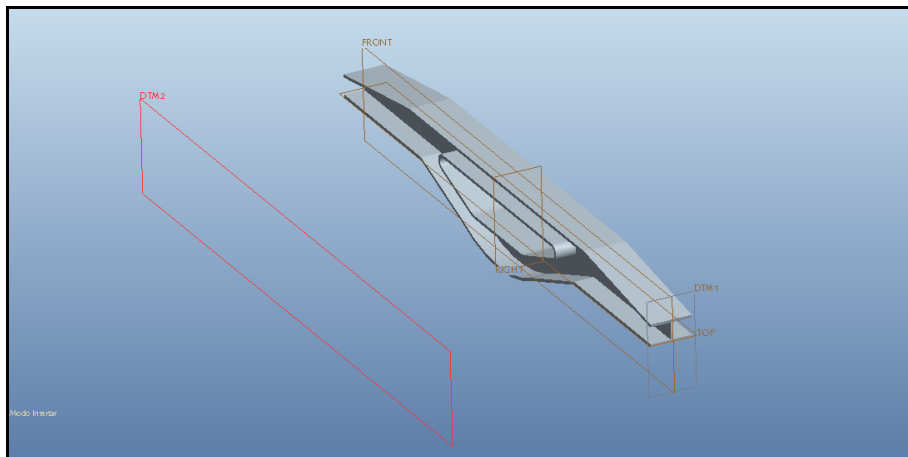
Creamos tres planos auxiliares para ayudarnos al dibujo de esta parte del BASTIDOR:  
DTM1, DTM2 y DTM3.

DTM1: paralelo al RIGHT y en el extremo del lateral.



**Figura 4.19 Plano DTM1 en rojo.**

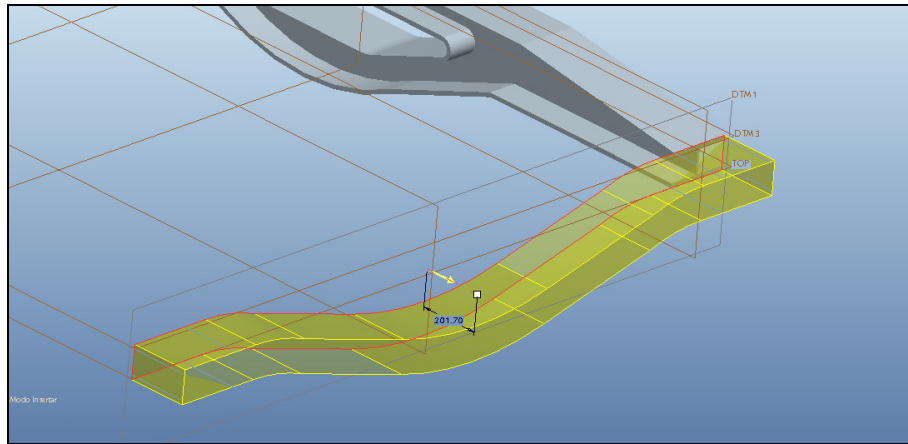
DTM2: paralelo al FRONT como plano de simetría del BASTIDOR.



**Figura 4.20 Plano DTM2 en rojo.**

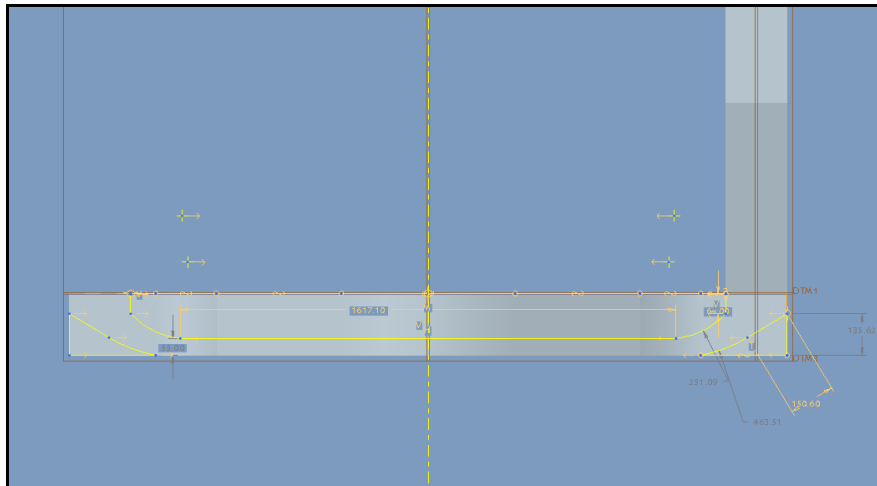
DTM3: paralelo al TOP y a la altura de la arista superior del extremo del lateral.





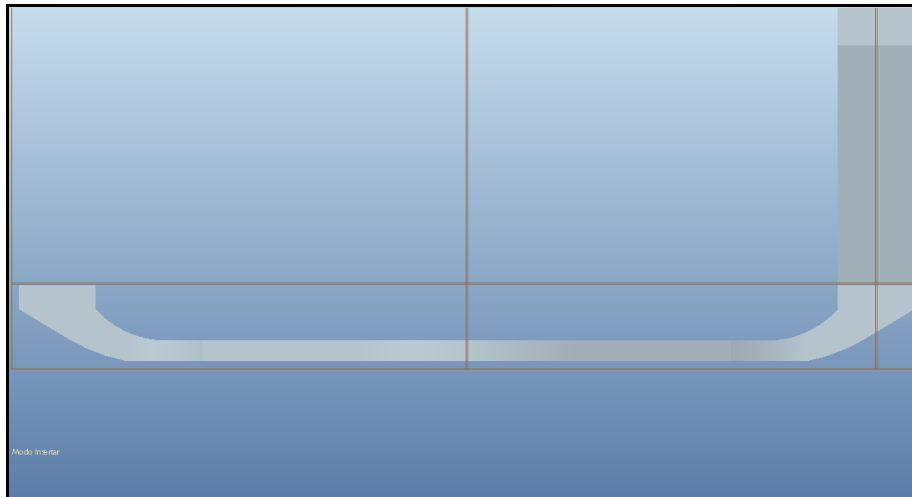
**Figura 4.23 Extrusión *FRONTAL1*.**

Dibujamos el vaciado de la cara superior en el plano DTM3, creamos sólo la parte derecha del eje de simetría y con la herramienta de simetría creamos la otra mitad.



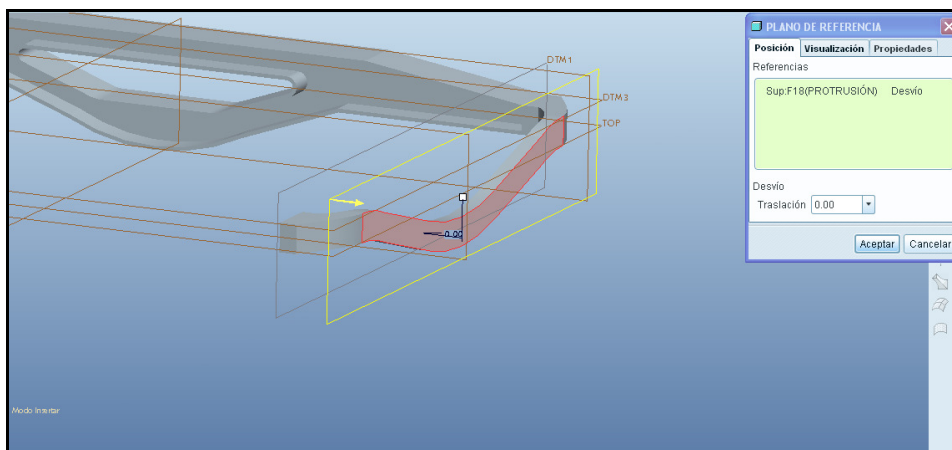
**Figura 4.24 Dibujo *FRONTAL2*.**

Realizamos el vaciado hasta el final de la pieza indicando hasta la siguiente superficie. De este modo, nos queda la forma del frontal del BASTIDOR.



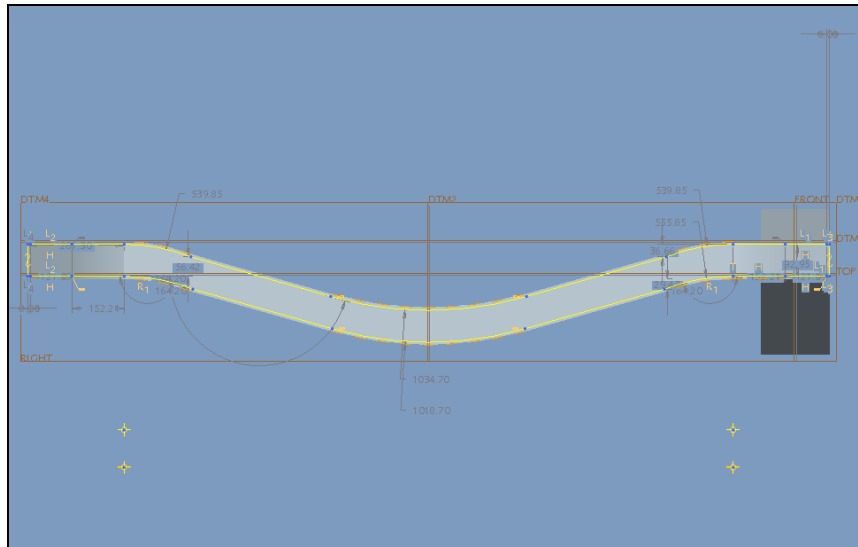
**Figura 4.25 Extrusión *FRONTAL2*.**

Ahora procedemos a crear un plano como ayuda al dibujo de la parte frontal, el plano DTM4, en la superficie final de la operación *FRONTAL2*.



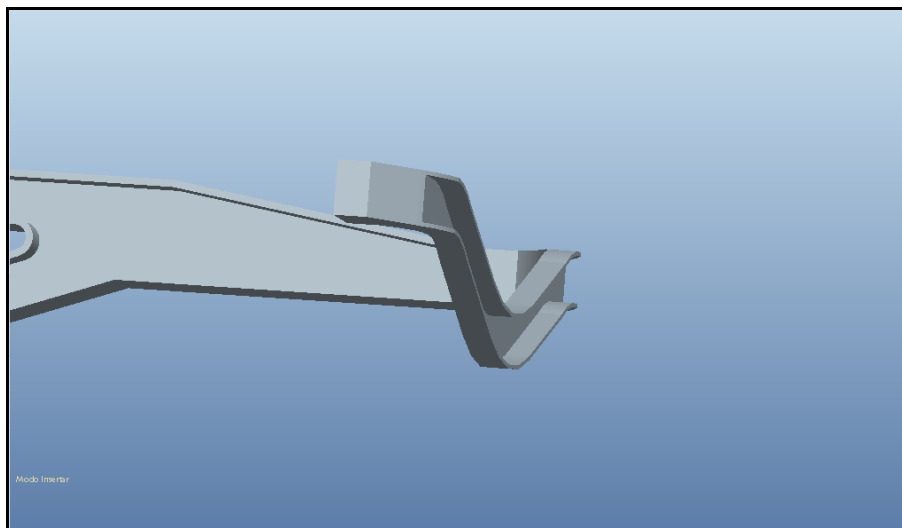
**Figura 4.26 Plano DTM4 en amarillo, superficie final en rojo.**

Dibujamos el vaciado de la parte frontal en el plano DTM4 creado anteriormente para crear un perfil de espesor igual que el resto del BASTIDOR.



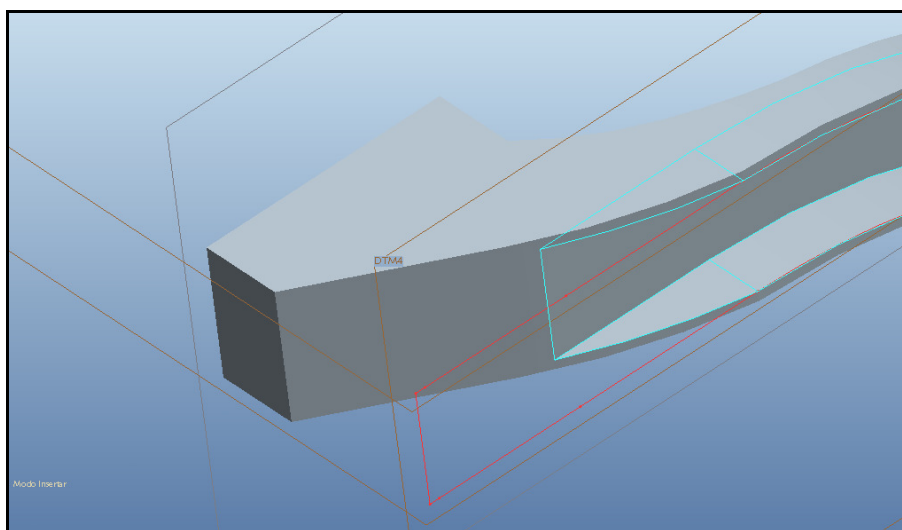
**Figura 4.27 Dibujo *FRONTAL3*.**

Creamos la extrusión para vaciar el frontal y que quede definido el perfil. Las operaciones trabajan en planos y no podemos realizarla en dos dimensiones para seguir el perfil del BASTIDOR, habría que trabajar con superficies. Hacemos esto como simplificación para dibujar la unión, aunque en realidad en el plano parece que tenga el perfil constante de extremo a extremo y que esté formado por dos o más piezas. Hay que recordar que tenemos el requisito de hacer el BASTIDOR en una sola pieza.



**Figura 4.28 Vaciado *FRONTAL3*.**

Vemos un detalle de la diferencia entre el dibujo y el vaciado *FRONTAL3*. La extrusión no puede seguir el perfil exterior de la pieza, ya que hemos utilizado el plano DTM4 para el dibujo. Al tener que hacer el BASTIDOR completo en una pieza, estas se sustituyen por operaciones y no todas las características son reproducibles en los tres planos de dibujo a la vez, como hemos explicado.



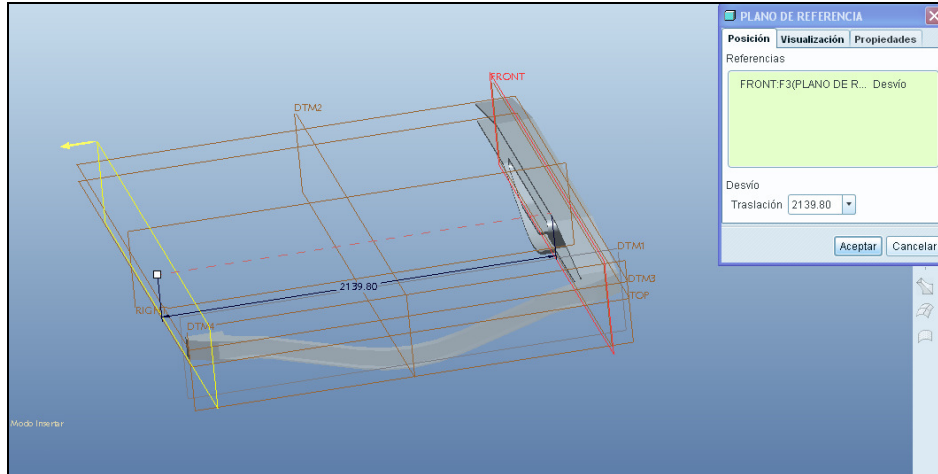
**Figura 4.29** Detalle dibujo en rojo y vaciado en azul *FRONTAL3*.

Ya tenemos el lateral y el frontal, como hemos dicho. Ahora vamos a ayudarnos de las herramientas de simetría para poder terminar el diseño del BASTIDOR.



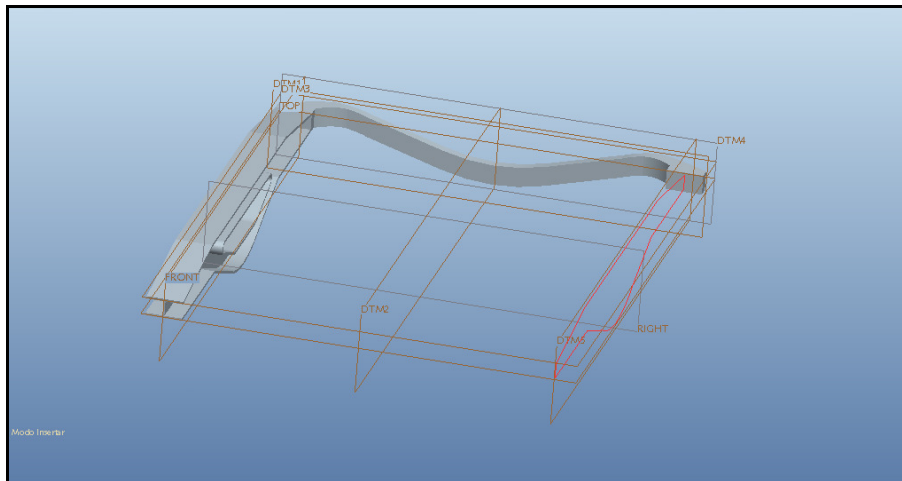
### 4.2.3 Lateral opuesto

Creamos un plano de trabajo DTM5 paralelo al FRONT y simétrico respecto al plano DTM2 creado anteriormente en el eje de simetría.



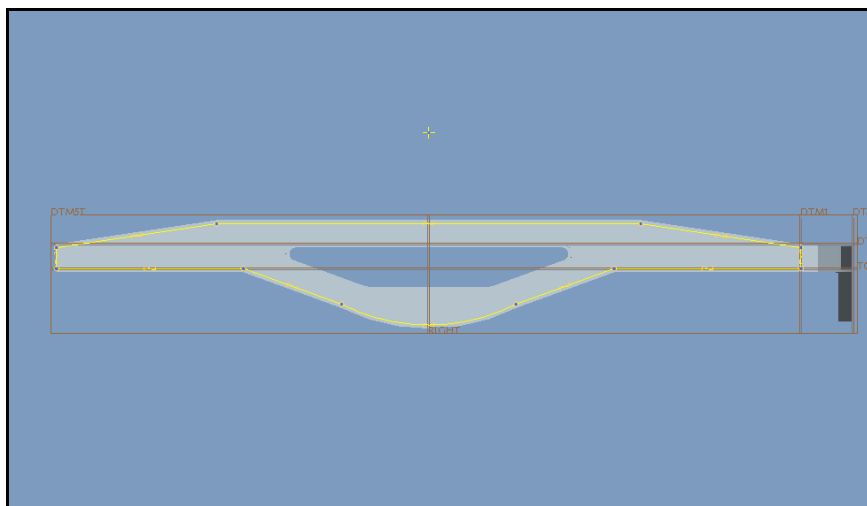
**Figura 4.30 Plano DTM5 en amarillo.**

Usando la función proyección, como su propio nombre indica, proyectamos el dibujo del *LATEARLI* en el plano que acabamos de crear.



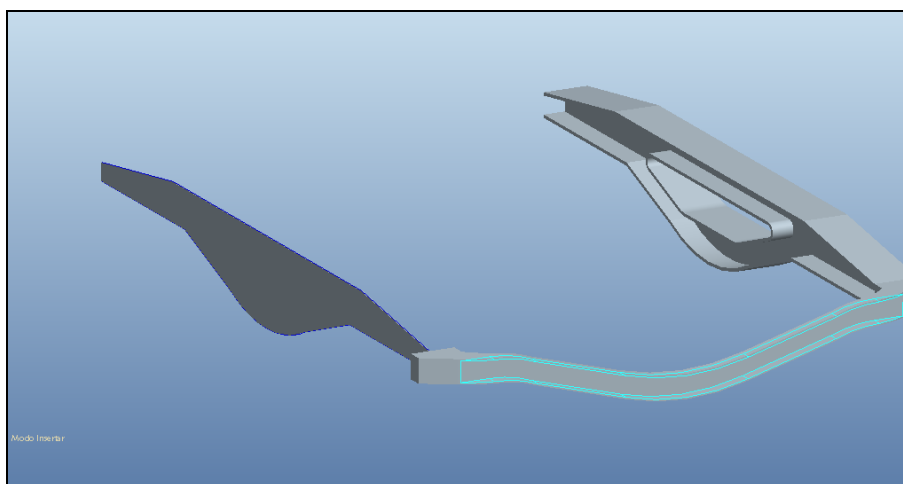
**Figura 4.31 Proyección dibujo *LATERALI*.**

Tenemos que dibujar la proyección en dicho plano DTM5 para poder utilizarla en una extrusión. Usaremos la herramienta de dibujo “crear aristas siguiendo una entidad ya creada” para dibujar el perfil.



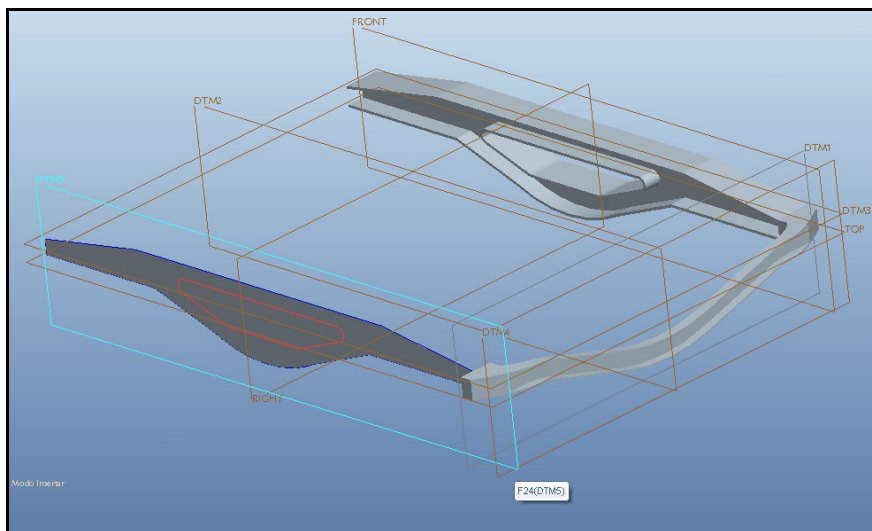
**Figura 4.32 Dibujo *LATERAL11*.**

Creamos la extrusión *LATERAL11* con el mismo espesor que el resto de perfiles. Esta operación nos da un perfil simétrico al creado en la primera operación *LATERAL1*.



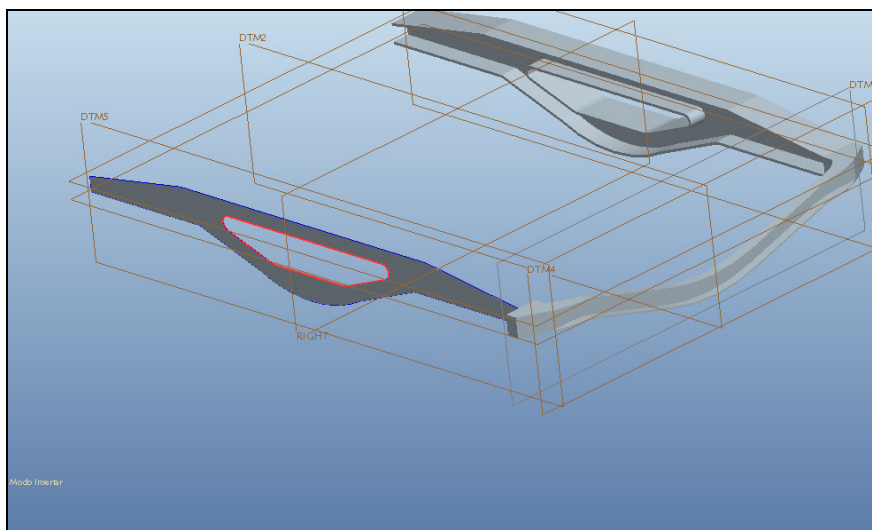
**Figura 4.33 Extrusión *LATERAL11*.**

Volvemos a utilizar la herramienta de proyección para conseguir tener el perfil del dibujo *LATERAL2*, en el plano DTM5 y dibujarlo en dicho plano.



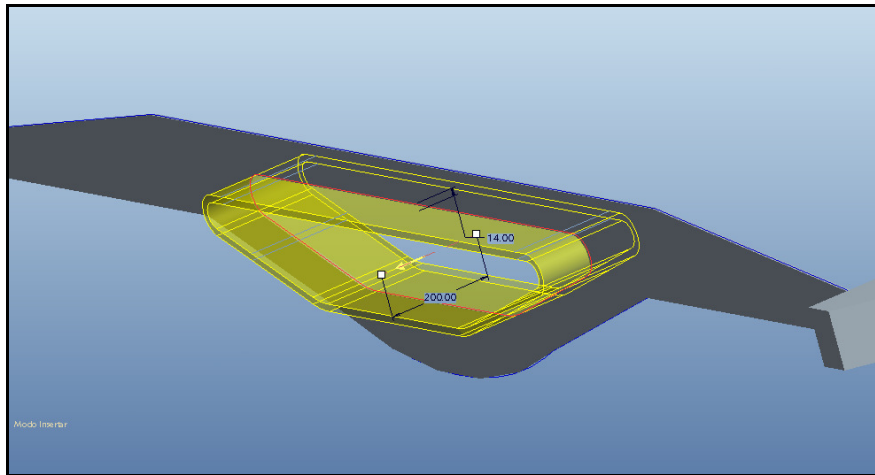
**Figura 4.34** Proyección Dibujo *LATERAL2* (rojo) sobre plano DTM5 (azul).

Creamos el vaciado *LATERAL12* con las mismas características que el *LATERAL2*.



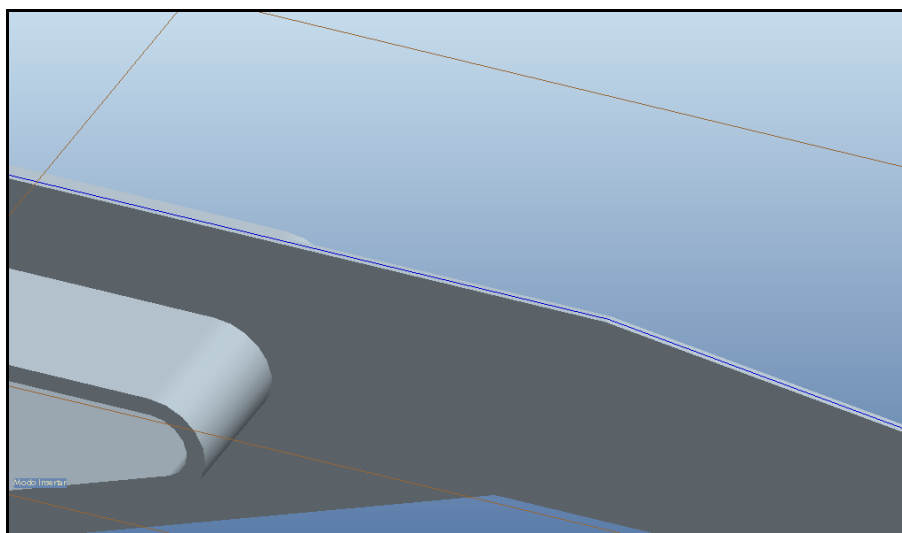
**Figura 4.35** Vaciado *LATERAL12*.

Utilizando el perfil del vaciado y definimos un extrusión simétrica con el mismo espesor definido para todos los perfiles.



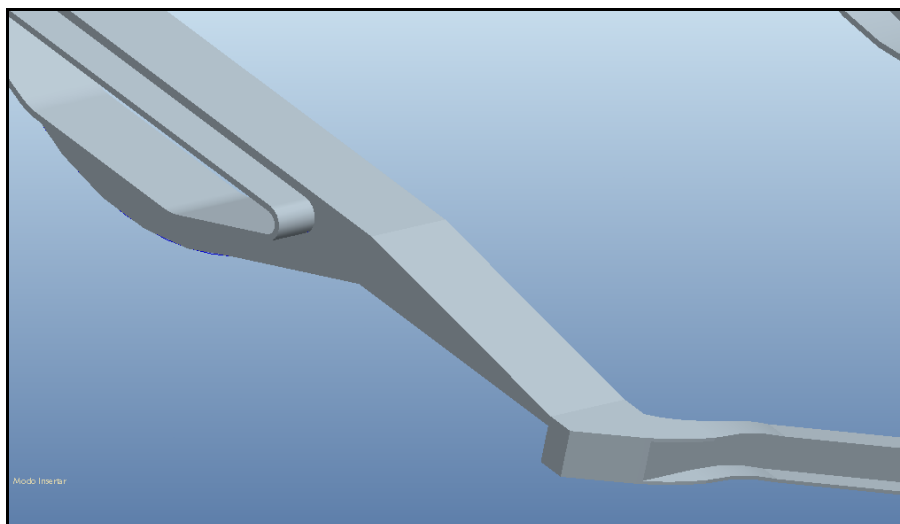
**Figura 4.36 Extrusión *LATERAL13*.**

Dibujamos en el plano DTM5 el perfil superior con la herramienta de crear entidades a partir de una arista ya creada basándonos en la arista del primer lateral ya creado.



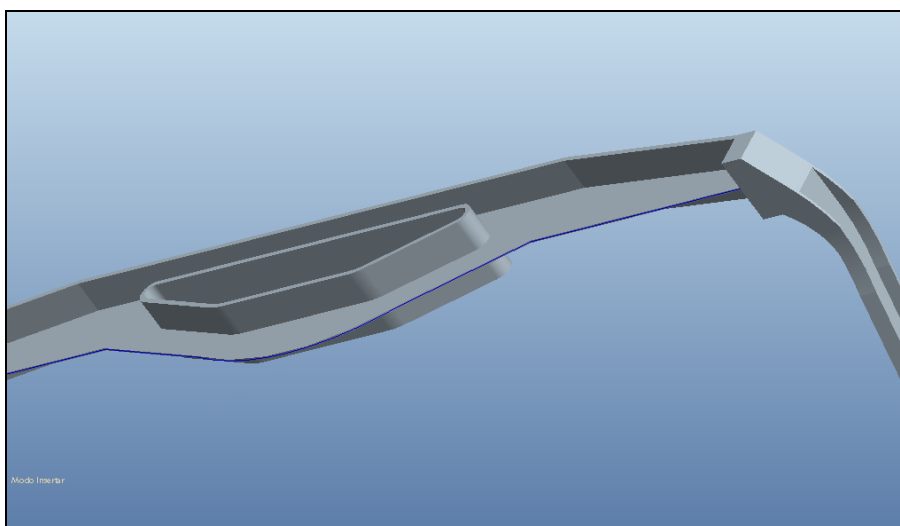
**Figura 4.37 Dibujo *LATERAL14*.**

Así podemos crear la extrusión que siga todo el perfil del lateral definiendo el espesor y la profundidad que queramos y que coincida con la parte frontal del BASTIDOR.



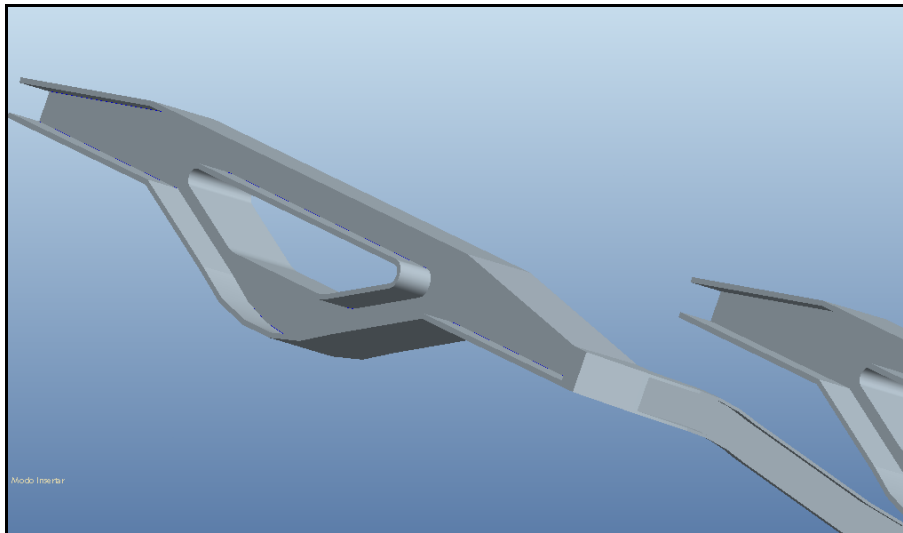
**Figura 4.38 Extrusión *LATERAL14*.**

Realizamos la misma secuencia para la parte inferior del lateral. Dibujamos una línea que siga el perfil sobre el plano DTM5.



**Figura 4.39 Dibujo *LATERAL15*.**

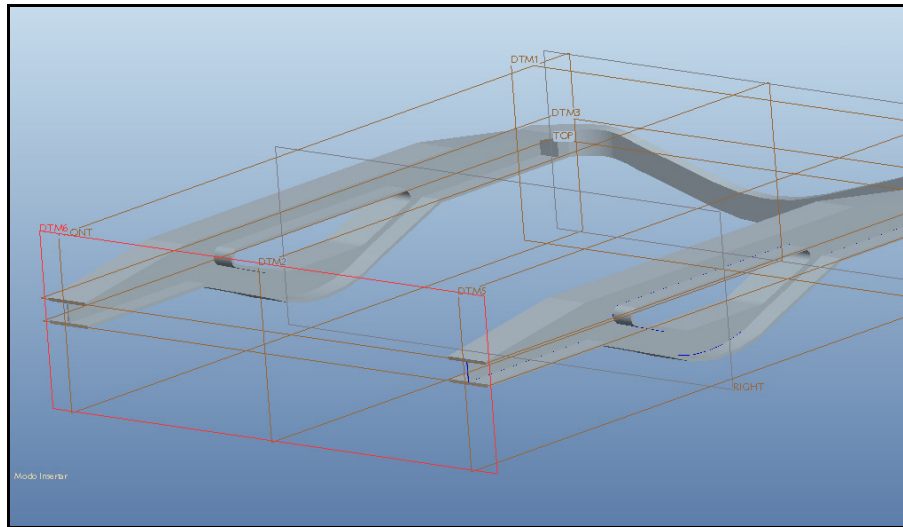
Creamos una extrusión simétrica para darle el espesor y la profundidad a este otro lateral del BASTIDOR.



**Figura 4.40 Extrusión *LATERAL15*.**

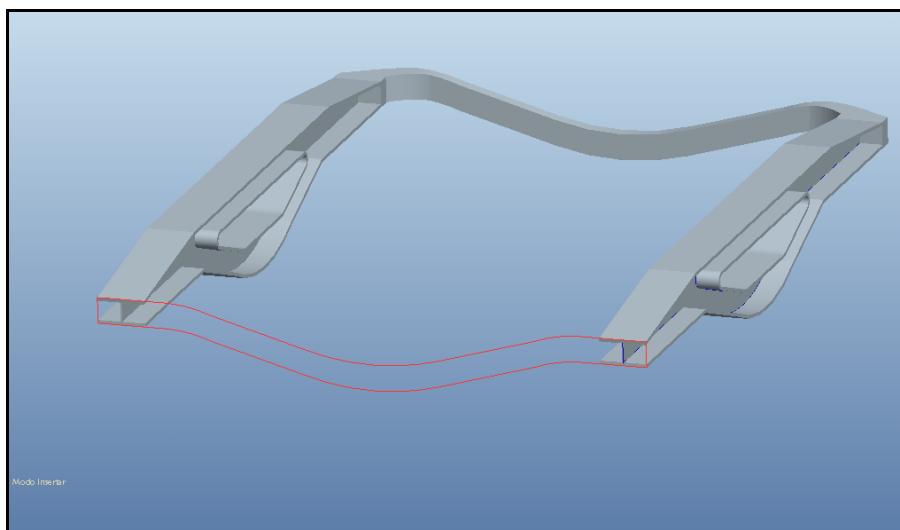
#### **4.2.4 Frontal opuesto**

Para diseñar el frontal opuesto, creamos un plano de ayuda al dibujo DTM6 simétrico respecto al otro eje el BASTIDOR y en la posición opuesta al DTM1. Este plano pasará por las aristas del final del primer lateral del BASTIDOR. La misma condición que el DTM1.



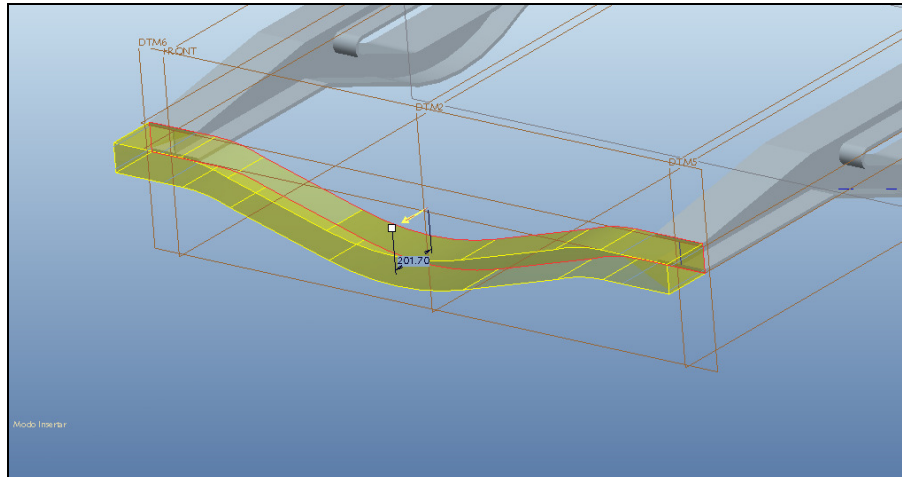
**Figura 4.41 Plano DTM6 en rojo.**

Utilizamos de nuevo la herramienta de proyección sobre el plano DTM6 para poder reproducir el dibujo de la primera fase del diseño del frontal en esta parte del BASTIDOR.



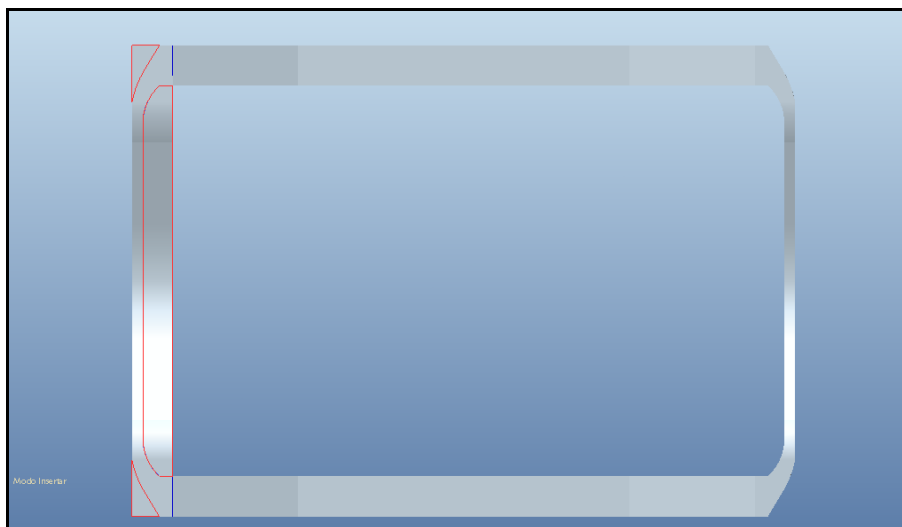
**Figura 4.42 Proyección Dibujo *FRONTAL11* (rojo).**

Dibujamos la proyección en dicho plano DTM6 para poder utilizarla en una extrusión usando la herramienta de dibujo “crear aristas siguiendo una entidad ya creada” y definimos la extrusión *FRONTAL12* de dicho dibujo.



**Figura 4.43 Extrusión *FRONTAL11*.**

La siguiente operación sería dibujar la forma del frontal desde el plano superior, y para ello utilizaremos la herramienta simetría con el plano RIGHT como eje de simetría.



**Figura 4.44 Proyección con herramienta de simetría.**

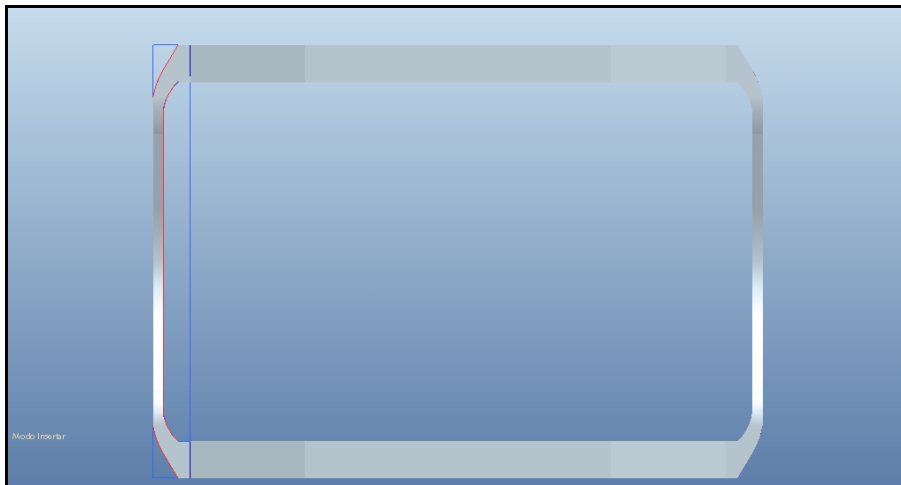
Dibujamos la simetría generada sobre el plano DTM3 para poder utilizarla en una operación de vaciado posterior.





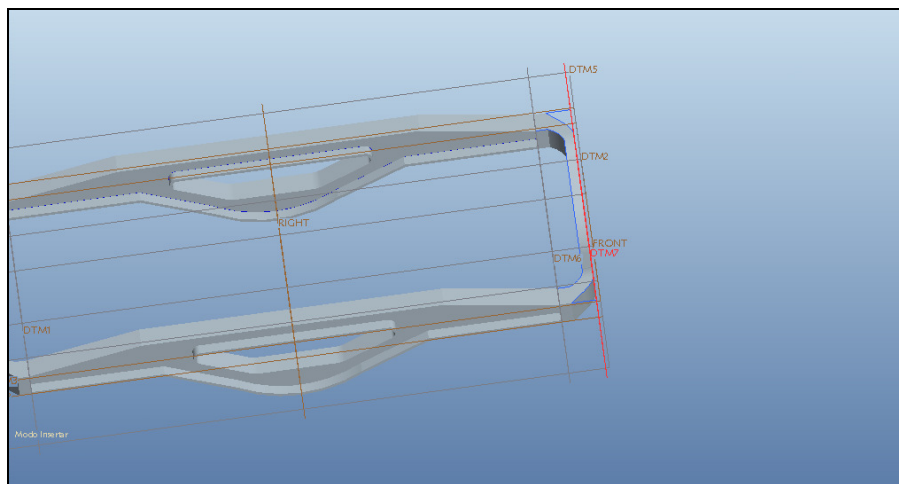
**Figura 4.45 Dibujo *FRONTAL12*.**

Generamos la operación de vaciado *FRONTAL12*.



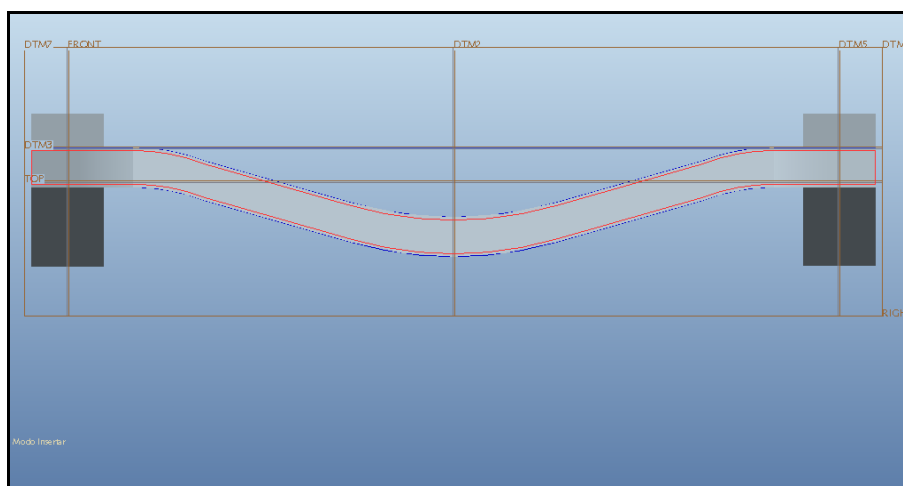
**Figura 4.46 Vaciado *FRONTAL12*.**

Creamos el plano DTM7 como hicimos antes para ayudarnos al dibujo y poder hacer el vaciado de todo el frontal.



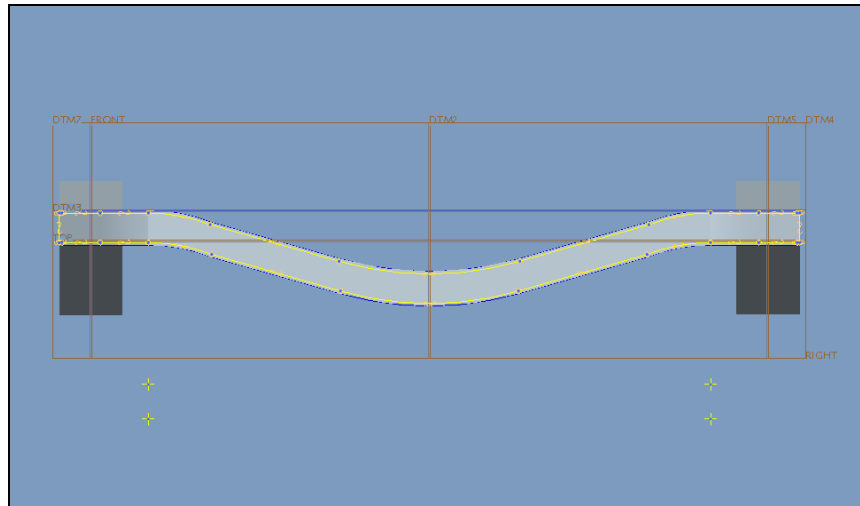
**Figura 4.47 Plano DTM7 en rojo.**

Para ello utilizamos nuevamente la herramienta de simetría. Primero proyectamos el dibujo *FRONTAL3* en el plano DTM7.



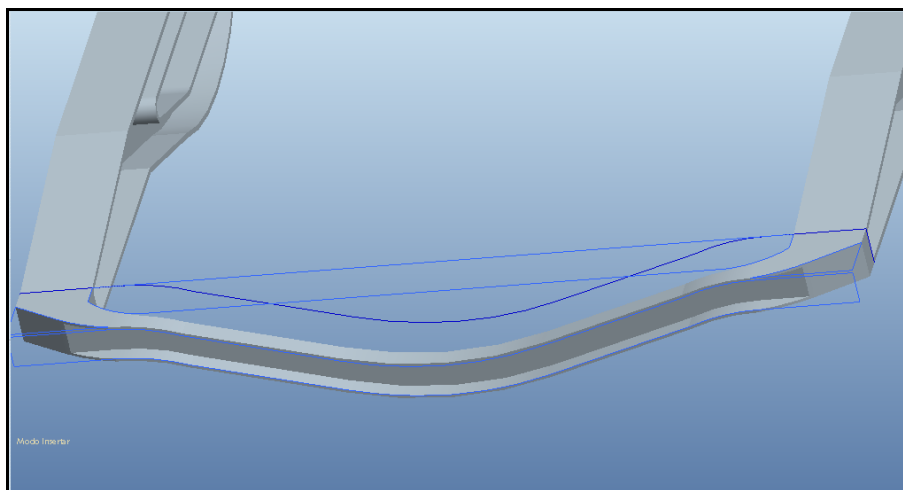
**Figura 4.48 Proyección con herramienta de simetría.**

Después dibujamos el perfil usando en el mismo plano DTM7 como referencia.



**Figura 4.49 Dibujo *FRONTAL13*.**

A continuación creamos el vaciado para conseguir el mismo perfil con el espesor y la profundidad del *FRONTAL3*.



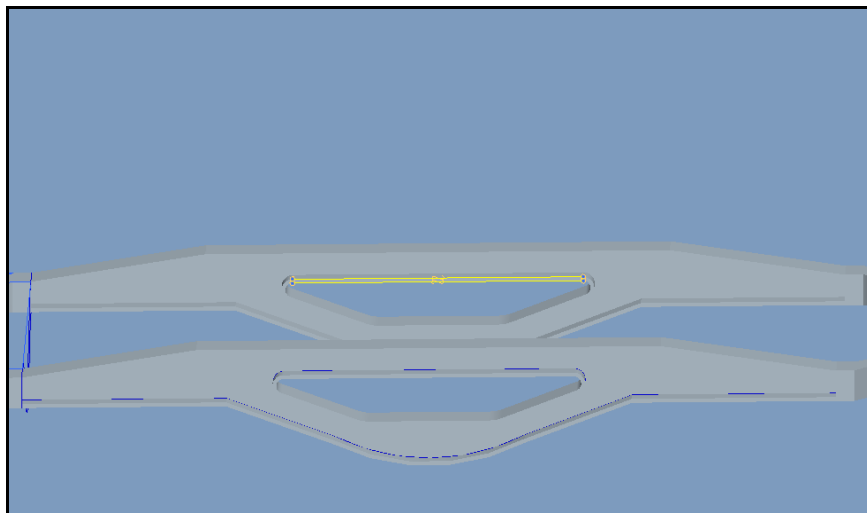
**Figura 4.50 Vaciado *FRONTAL13*.**

Así hemos creado toda la estructura exterior del cuerpo del BASTIDOR completando, de este modo, la definición con el diseño de figuras laterales y frontales y sus respectivas operaciones de simetría para completar los otros dos lados, como dijimos al principio.

#### **4.2.5 Central/travesaño**

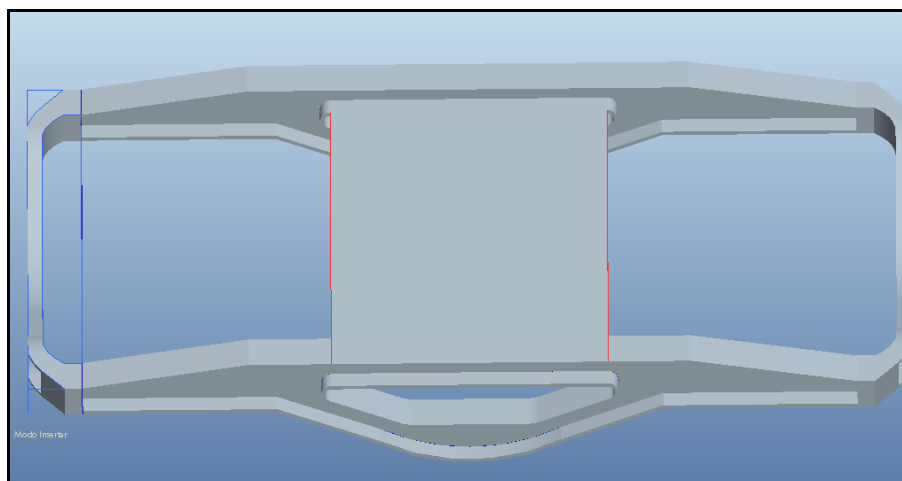
Si observamos el plano de conjunto del Bogie Y21 de CAF-BEASAIN y más en concreto el detalle de la sección **A-A**, vemos que a parte de la estructura exterior del BASTIDOR, formado por los perfiles ya creados, hay una parte central que llamaremos travesaño, que une los dos laterales y que forma parte de la estructura del BASTIDOR.

Vamos a empezar a dibujarla creando un perfil que una un lateral con el otro y que coincida con la parte superior de la extrusión de la ventana central, extrusión *LATERAL3*. Sería una plancha transversal de lado a lado del BASTIDOR.



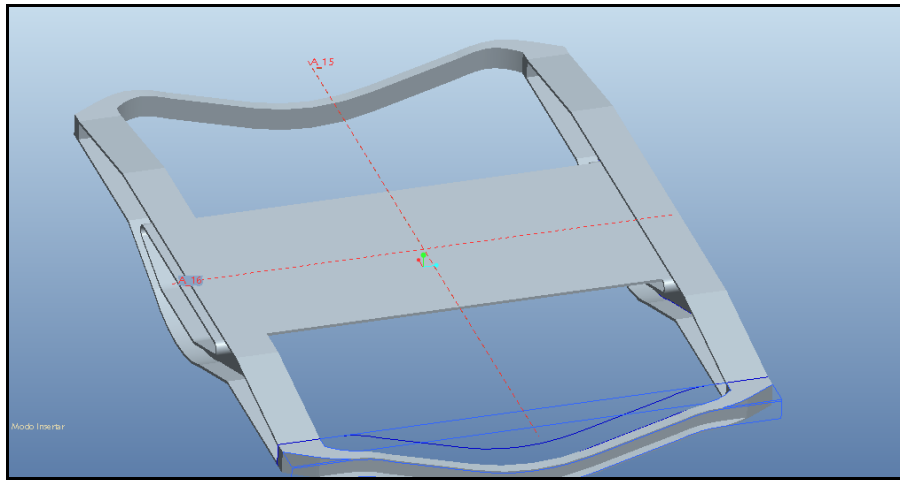
**Figura 4.51 Dibujo *TRAVSUP1*.**

Definimos la extrusión de extremo a extremo, uniendo ambos laterales del BASTIDOR.



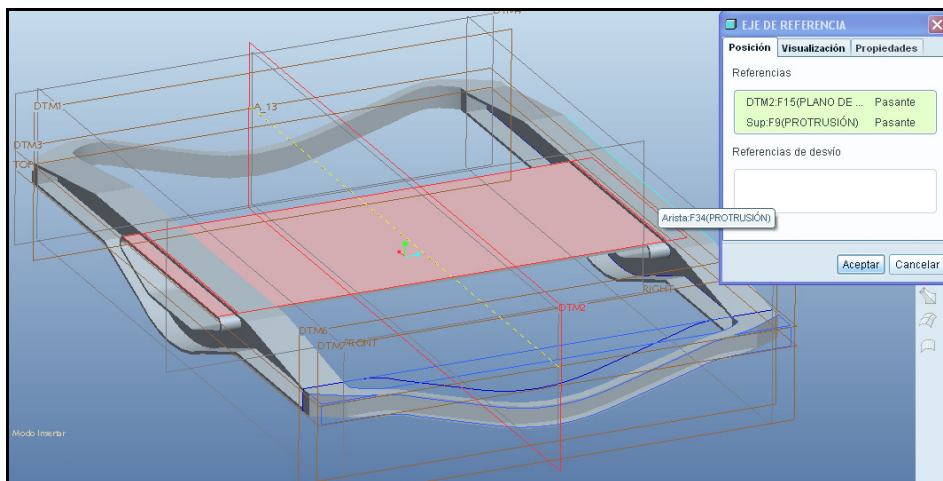
**Figura 4.52 Extrusión *TRAVSUP1*.**

Definimos unos ejes de simetría del bogie A15 y A16.



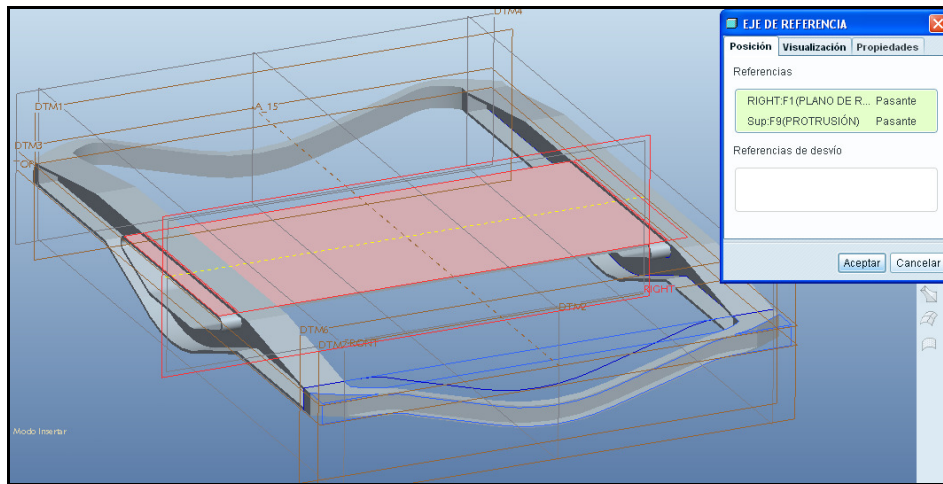
**Figura 4.53 Ejes de simetría A15 y A16.**

El A15, como intersección de los planos de simetría DTM2 con la superficie superior de la extrusión *TRAVSUP1*.



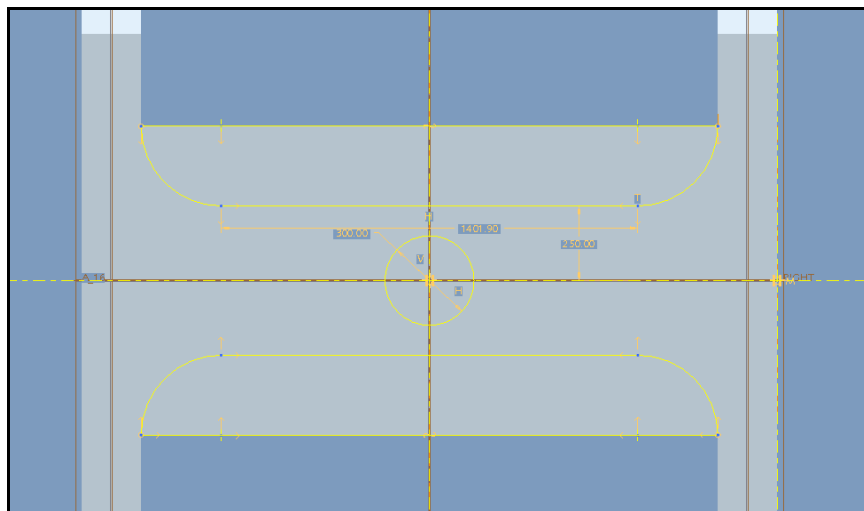
**Figura 4.54 Definición eje A15.**

El A16, como intersección de los planos de simetría RIGHT con también la superficie superior de la extrusión *TRAVSUP1*.



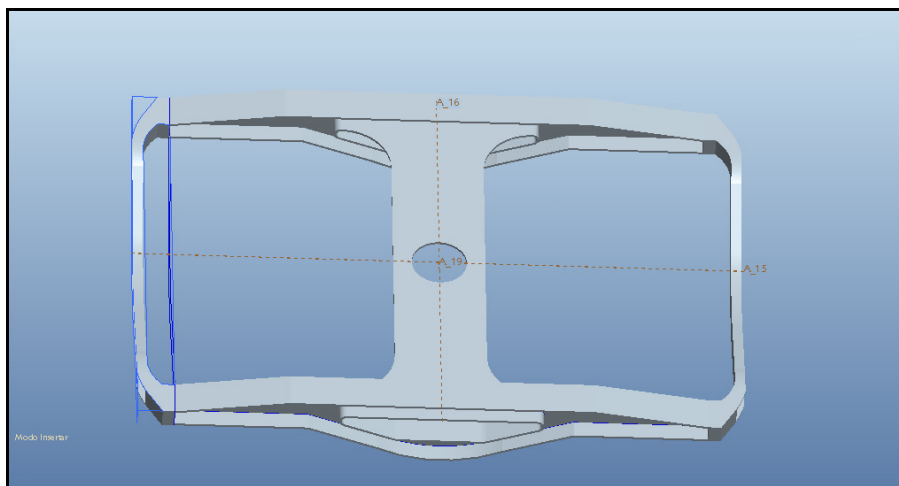
**Figura 4.55 Definición eje A16.**

Damos forma a la plancha superior creada dibujando sobre ella y utilizando los ejes que acabamos de definir como ayudas y referencias al dibujo.



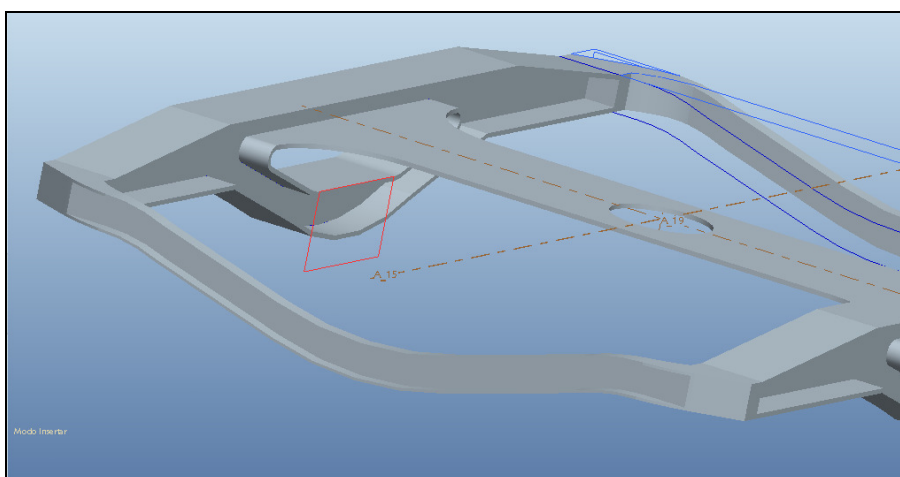
**Figura 4.56 Dibujo *TRAVSUP2*.**

Creamos el vaciado respectivo de la extrusión *TRAVSUP1* hasta la superficie siguiente.



**Figura 4.57 Vaciado *TRAVSUP2*.**

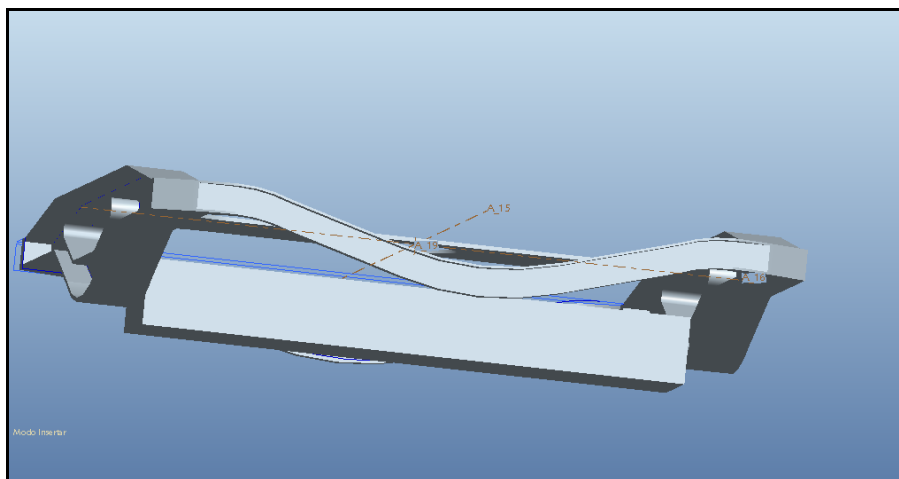
Crearemos la parte inferior de la unión entre ambos lados, dibujamos un bloque completo que abarque desde el borde inferior de la extrusión *LATERAL3* hasta donde llegaría la parte más baja del perfil.



**Figura 4.58 Dibujo *TRAVINF1*.**

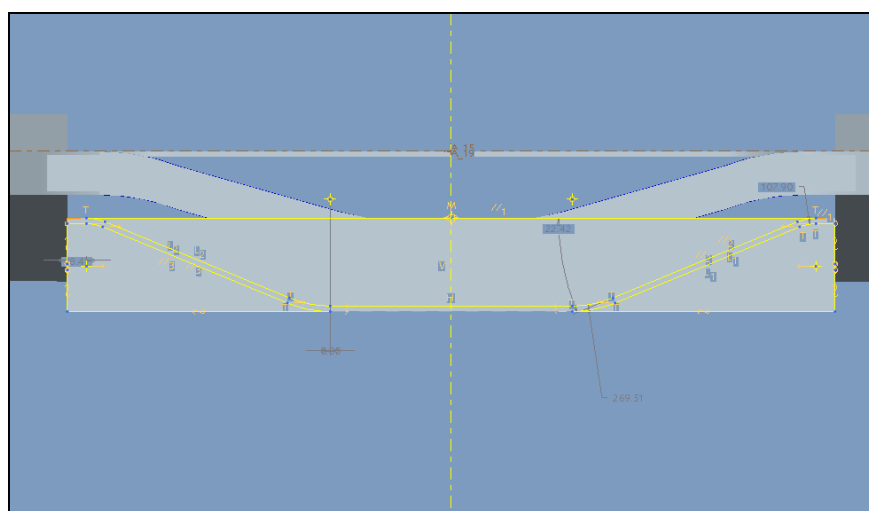
Definimos la extrusión hasta la misma superficie homóloga en el otro lateral.





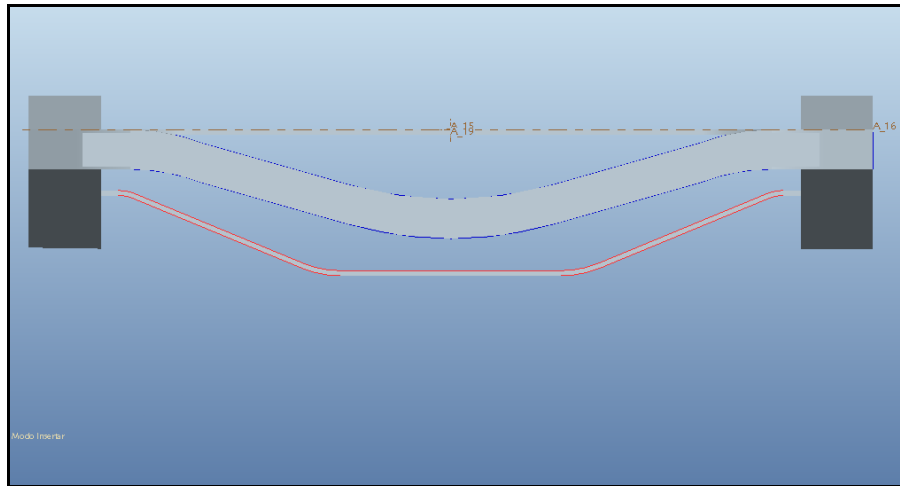
**Figura 4.59** Extrusión *TRAVINF1*.

Dibujamos el perfil en el lateral de la extrusión anterior para dar forma a la unión de la parte inferior del enlace transversal.



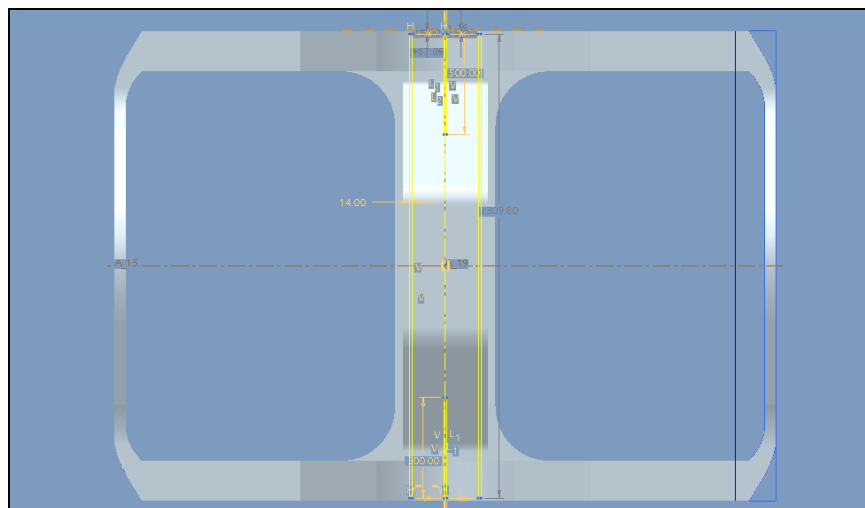
**Figura 4.60** 1Dibujo *TRAVINF2*.

Realizamos el vaciado de la parte exterior del dibujo creando el perfil deseado.



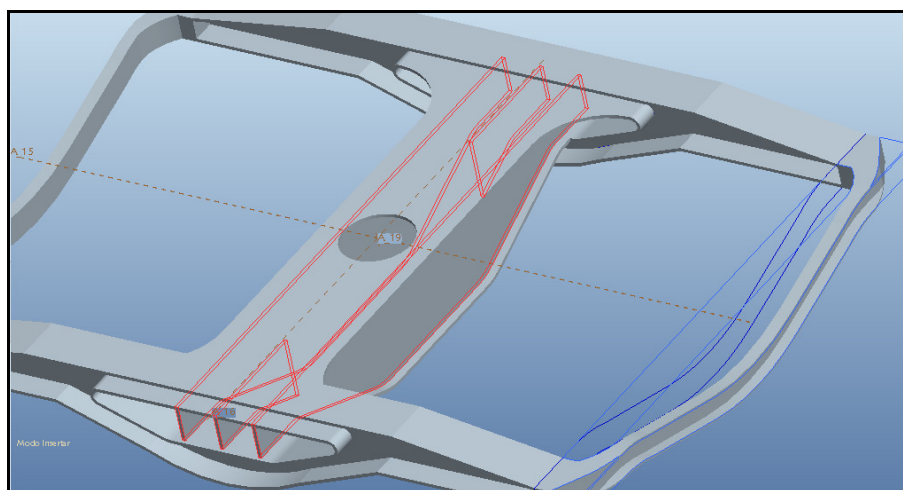
**Figura 4.61 Vaciado *TRAVINF2*.**

Haremos los perfiles que dan rigidez al conjunto en la otra dirección dibujando en la parte interior del travesaño superior los perfiles que necesitemos crear, en este caso tres, con uno de distinta longitud.



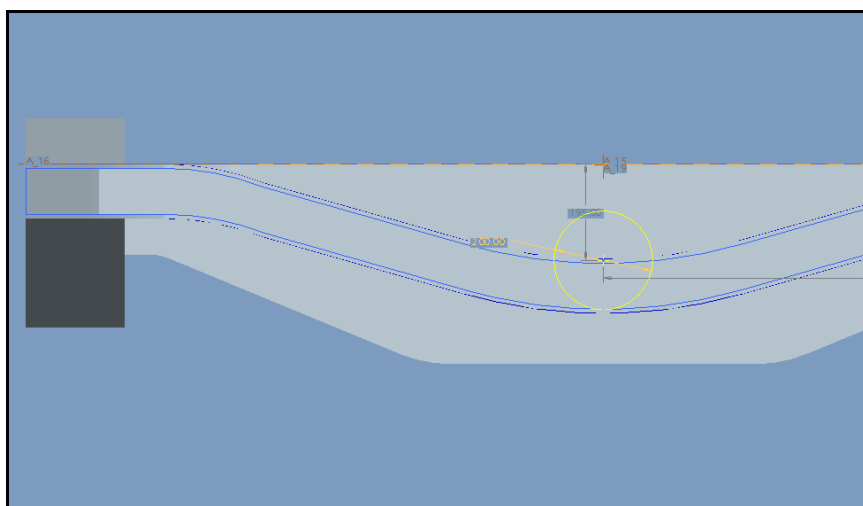
**Figura 4.62 Dibujo *TRAVINF3*.**

Realizaremos la extrusión de dichos perfiles definiendo la operación hasta la siguiente superficie, así cada uno tendrá la profundidad que marque el perfil, siguiendo la superficie inferior ya creada.



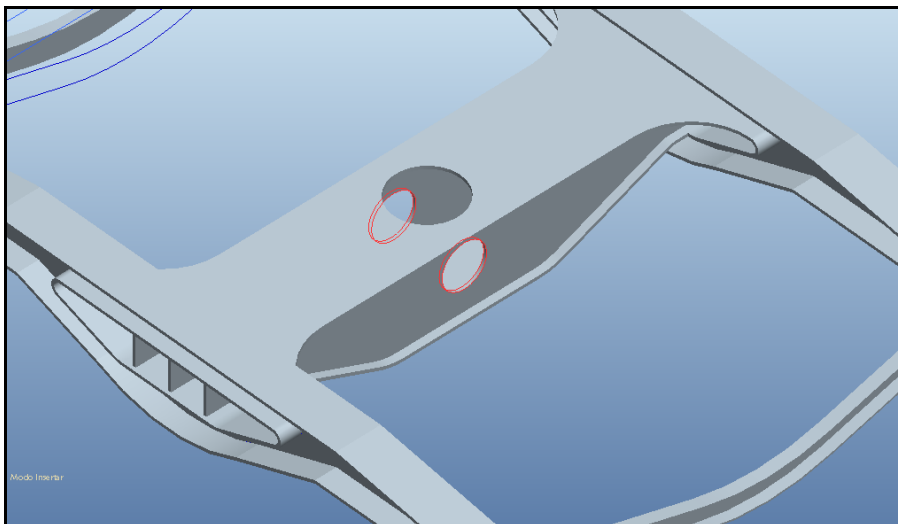
**Figura 4.63 Extrusión TRAVINF3.**

Dibujamos el vaciado que nos pide el plano en la parte frontal del travesaño.



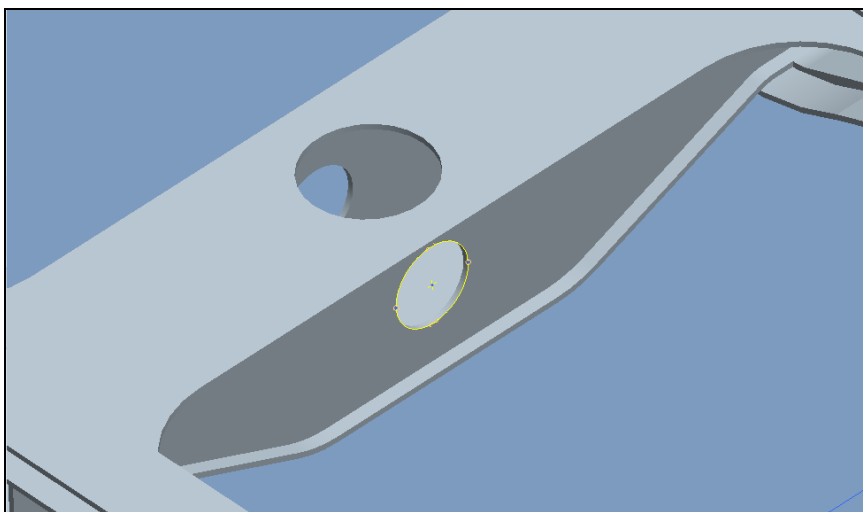
**Figura 4.64 Dibujo TRAVINF4.**

Hacemos que atraviese los dos perfiles de esta parte del travesaño.



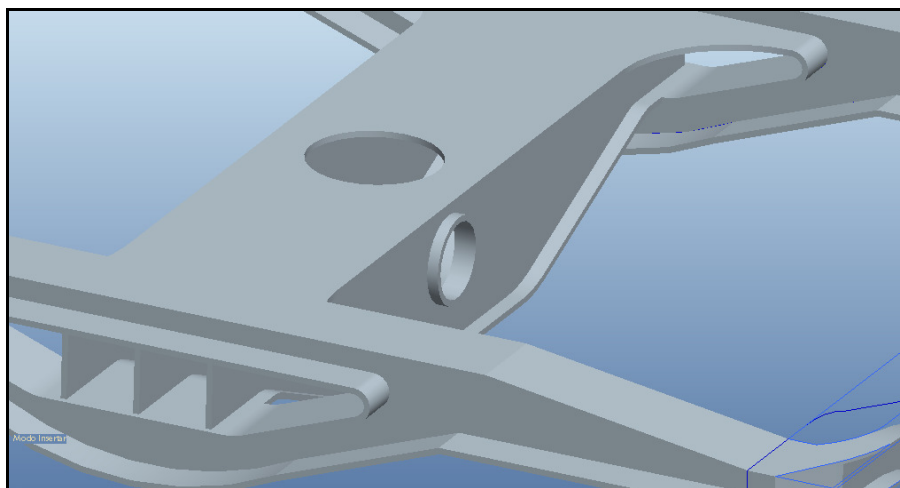
**Figura 4.65 Extrusión *TRAVINF4*.**

Para terminar esta parte del bogie ya sólo nos queda reforzar este último vaciado extrusionando un perfil alrededor de cada uno de los círculos. Dibujamos en cada superficie exterior un círculo que nos servirá para darle profundidad y espesor a la vez.



**Figura 4.66 Dibujo *TRAVINF5*.**

Realizamos la extrusión simétrica y de espesor igual al resto de los perfiles.



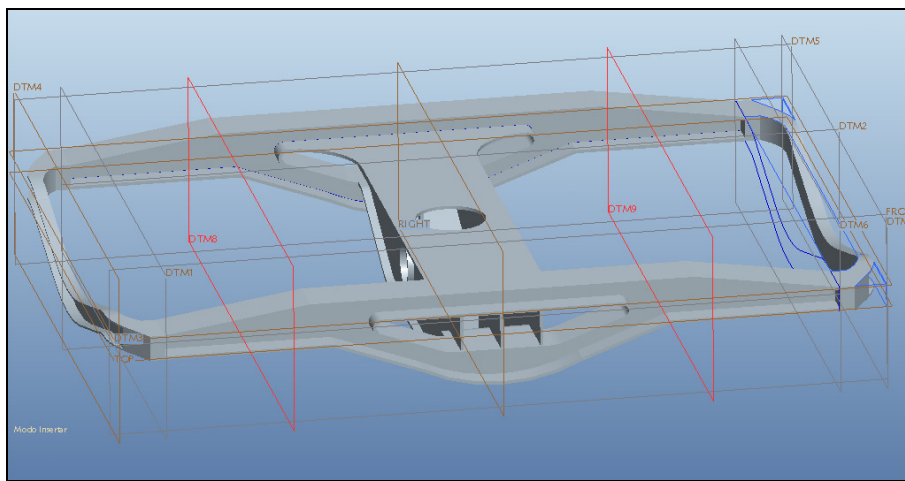
**Figura 4.67 Extrusión *TRAVINF5***

Con esto hemos terminado de diseñar la estructura del BASTIDOR. Nos falta la parte inferior, que sirve de enlace con la rueda y que, como dijimos, la diseñaríamos tras crear toda la estructura de perfiles del BASTIDOR.

#### **4.2.6 Enlace CAJA DE GRASA**

Una vez creado lo que llamaríamos la estructura del BASTIDOR del bogie, el siguiente paso sería darle forma a la parte que interactúa con el movimiento del eje y la rueda a través de la CAJA DE GRASA. Es la parte que nos serviría de enlace entre la CAJA DE GRASA y el BASTIDOR.

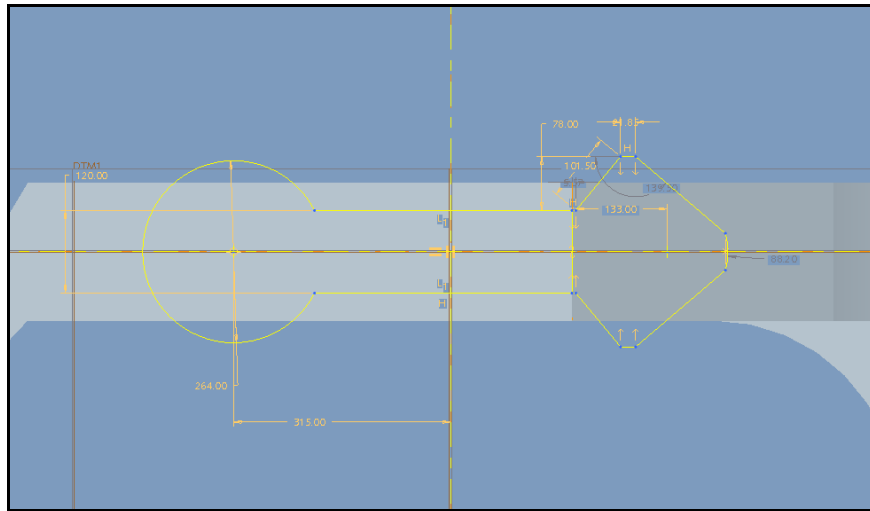
Para poder tener una referencia de dibujo y que nos sirva como ayuda al diseño, vamos a crear dos planos de simetría en el eje de giro de cada rueda y que usaremos como centro del enlace, la CAJA DE GRASA y el EJE-RUEDA.



**Figura 4.68 Planos DTM8 y DTM9 en rojo.**

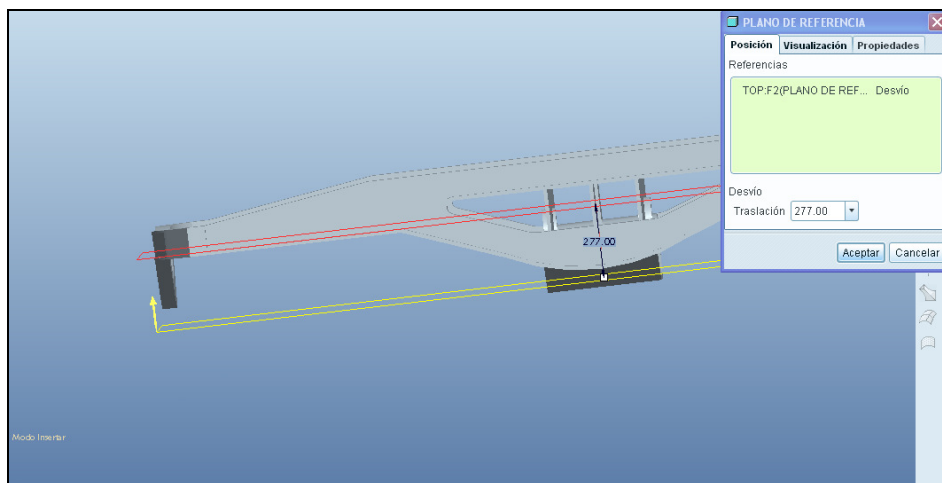
Esta parte quizá es la más complicada de crear, no técnicamente, sino por la poca información que se puede obtener del plano y la interpretación que se tiene que hacer y con ello las simplificaciones que se puedan dar.

Elegimos empezar dibujando en la parte inferior del BASTIDOR el contorno de la forma que tendrá el bloque.



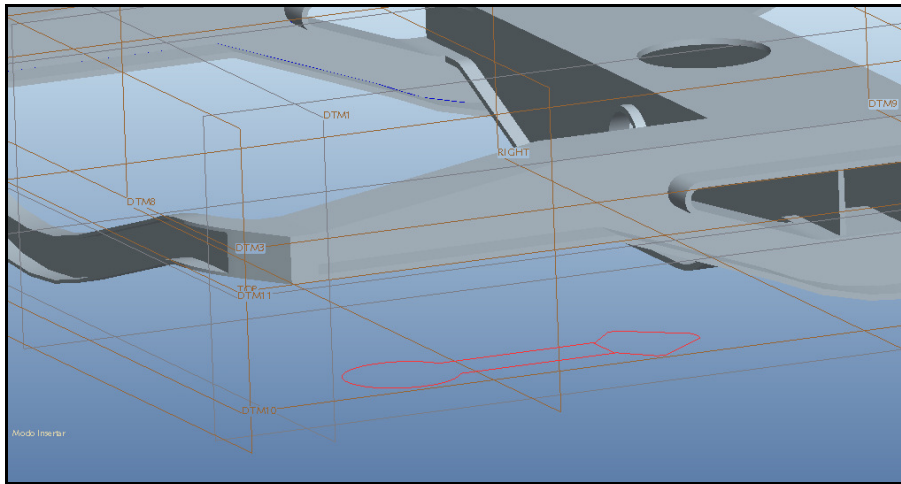
**Figura 4.69 Dibujo *ENLACEAJAGRASA1*.**

Creamos un plano DTM10 a la distancia del BASTIDOR que será la altura el enlace.



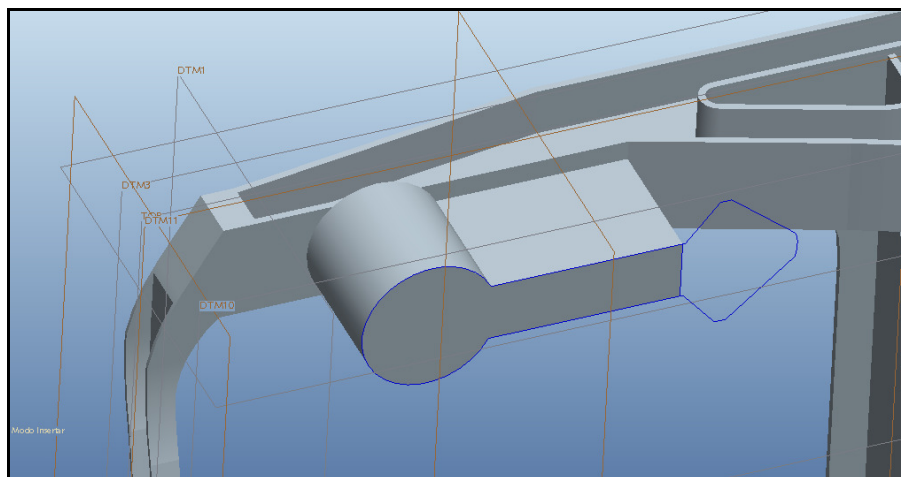
**Figura 4.70 Plano DTM10 en amarillo.**

Usamos la herramienta de proyección para poder definir el dibujo hecho en el BASTIDOR en el plano DTM10 creado.



**Figura 4.71 Proyección *ENLACECAJAGRASA1*.**

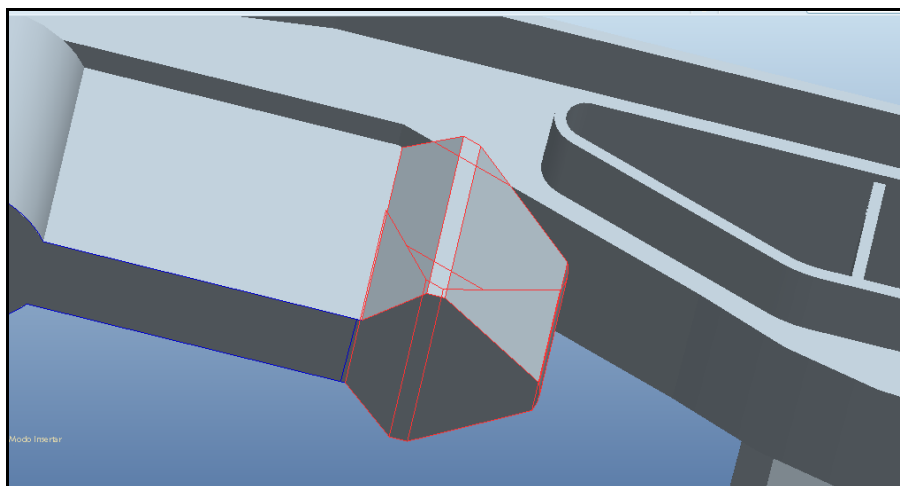
Creamos la extrusión de una parte del dibujo, la que coincidiría con la parte plana del BASTIDOR y que utilizamos para definir el final de dicha operación.



**Figura 4.72 Extrusión *1ENLACECAJAEXT*.**

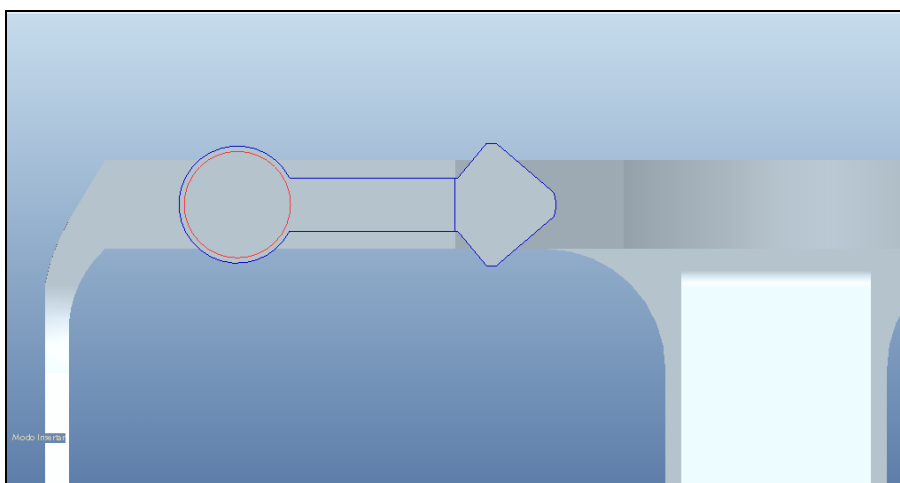
A continuación definimos la extrusión para la parte del dibujo que coincidiría con la zona inclinada del BASTIDOR y que utilizamos también como definición del final de la extrusión.





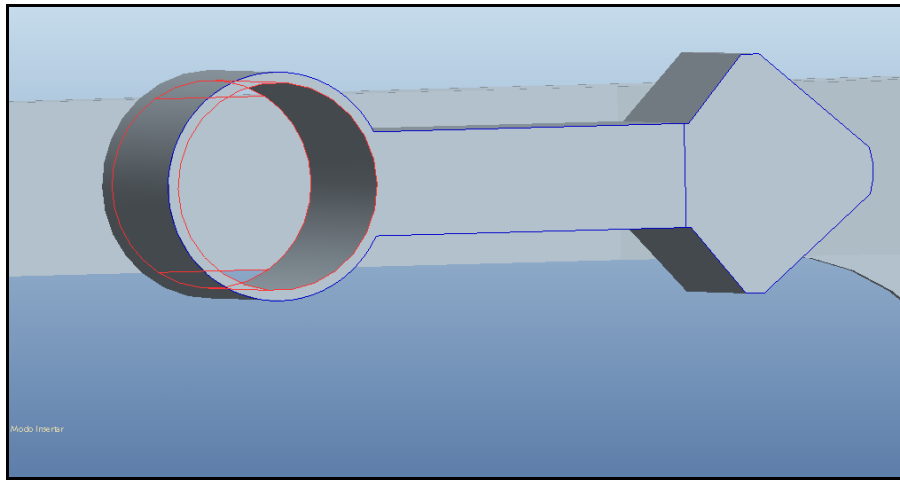
**Figura 4.73 Extrusión *1ENLACECAJANT*.**

Una vez creado el bloque del enlace con el contorno deseado empezamos a realizar las operaciones para darle forma. Dibujamos un círculo para crear el vaciado de esta parte del enlace.



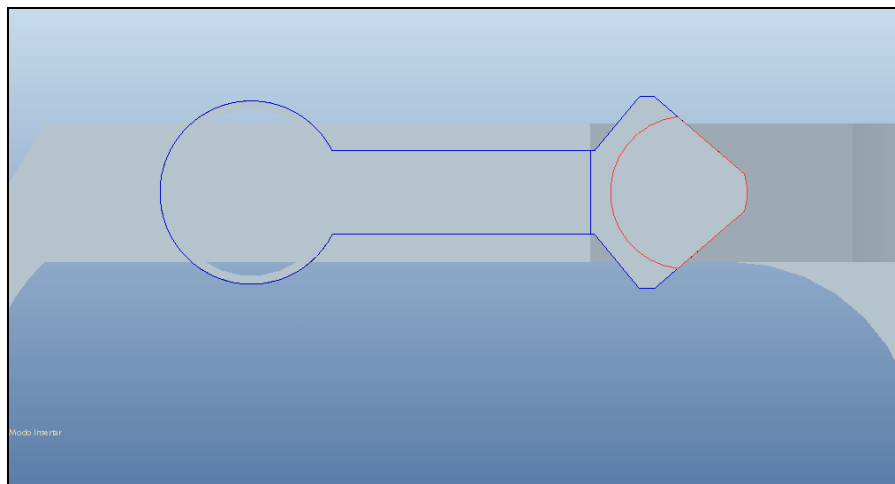
**Figura 4.74 Dibujo *1VACENLACEEXT*.**

Creamos la extrusión hasta la superficie del BASTIDOR.



**Figura 4.75 Extrusión *IVACENLACEEXT*.**

Hacemos lo mismo con lo que llamamos parte interior del enlace, la parte que está más cerca del centro del BASTIDOR. Dibujamos en esa parte para poder crear un vaciado posterior.



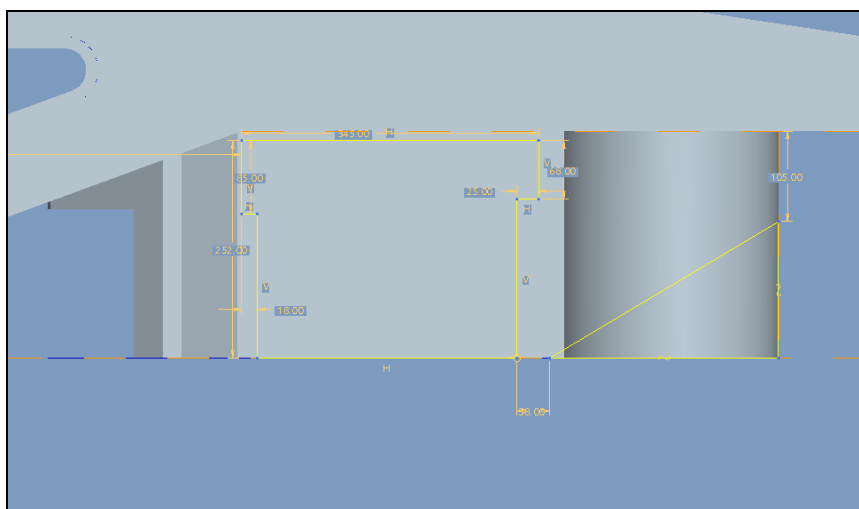
**Figura 4.76 Dibujo *IVACENLACEINT*.**

Definimos el vaciado pero sin que llegue al BASTIDOR, dando como resultado una superficie plana.



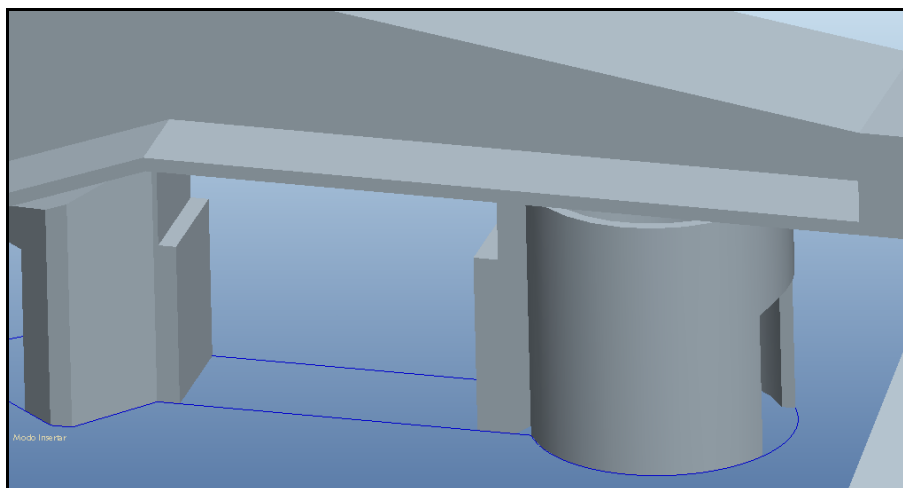
**Figura 4.77 Vaciado *IVACENLACEINT*.**

Ahora vamos con la parte central. Dibujamos en la cara interior del enlace un perfil para poder realizar el vaciado e incluimos la parte exterior del enlace, la parte circular.



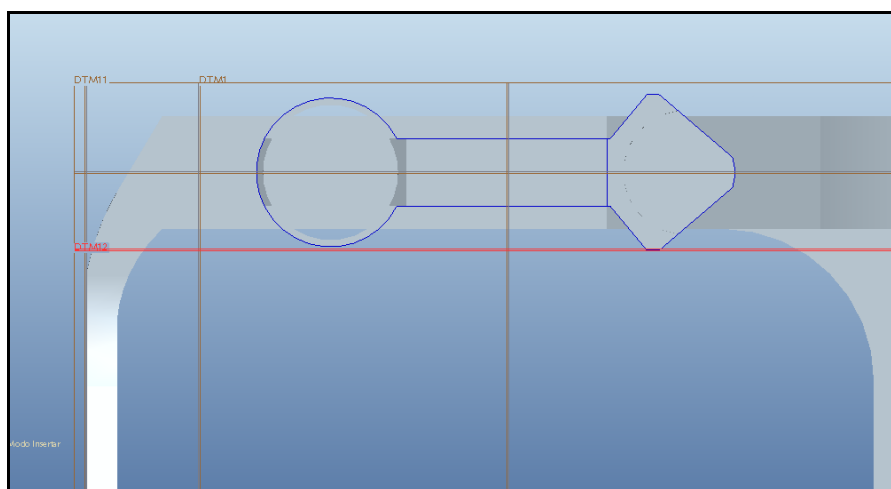
**Figura 4.78 Dibujo *IVACENLACELAT*.**

Hacemos el vaciado hasta la otra cara de la pieza con lo cual nos ha generado sólo un vaciado parcial de la parte circular que completaremos a continuación.



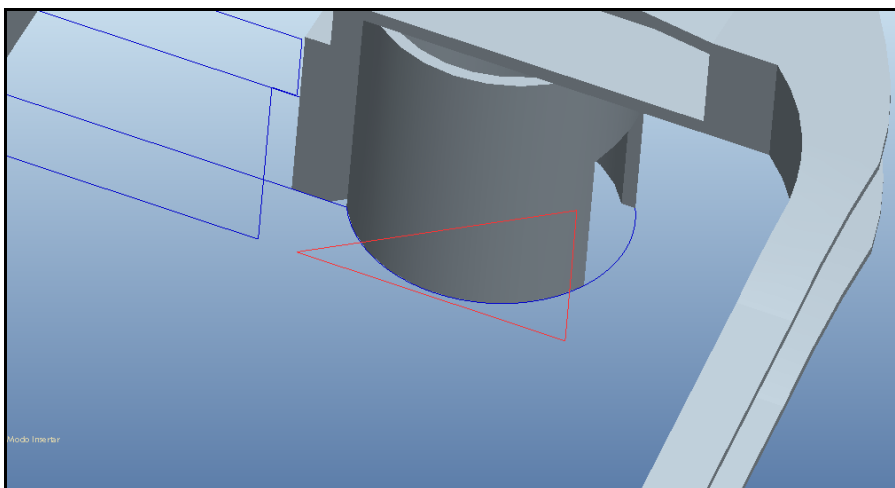
**Figura 4.79 Vaciado *IVACENLACELAT*.**

Creamos un plano auxiliar que sea paralelo al de referencia FRONT y que pase por la superficie lateral del enlace más alejada del BASTIDOR.



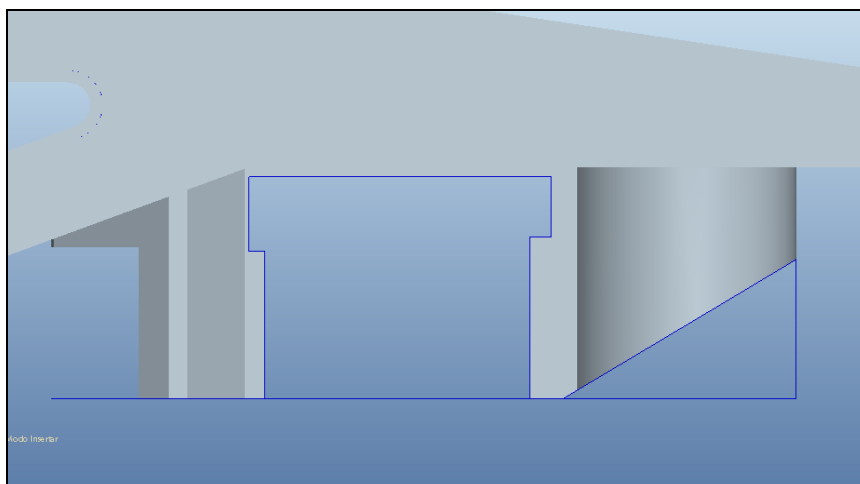
**Figura 4.80 Plano DTM12 en rojo.**

Así podemos realizar la proyección de la parte del dibujo anterior *IVACENLACELAT* y dibujar la parte del extremo circular.



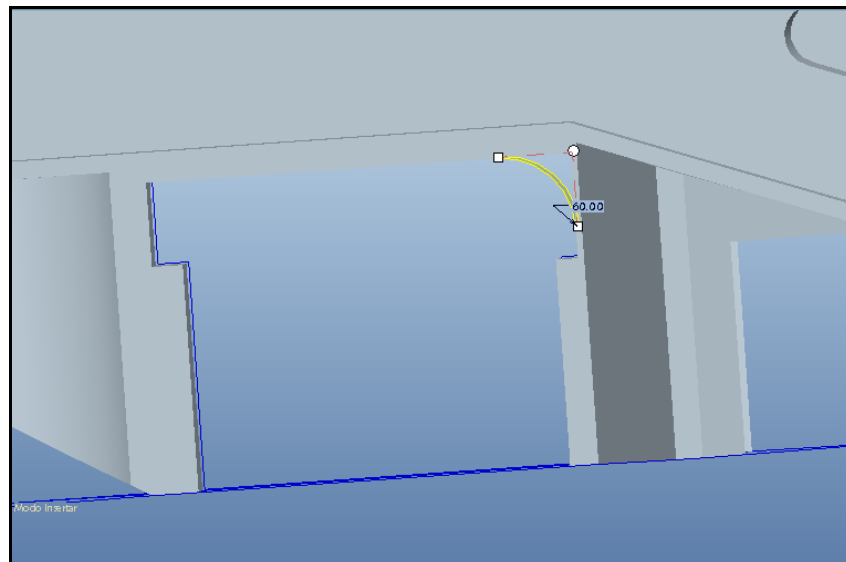
**Figura 4.81 Dibujo *IVACENIACELAT2*.**

Al hacer el vaciado de dicho dibujo ya damos forma a todo el perfil de esta zona.

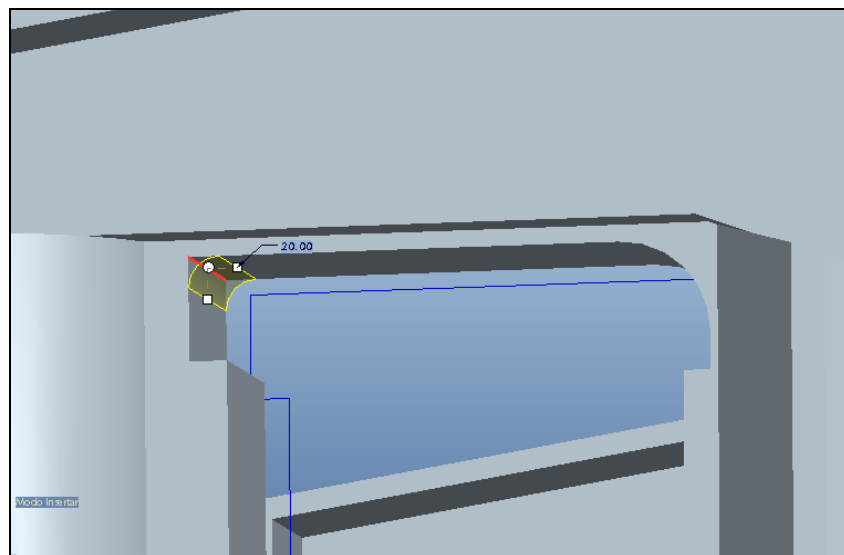


**Figura 4.82 Vaciado *IVACENLACELAT2*.**

Definimos dos redondeos entre las caras verticales y la superficie del BASTIDOR para darle más cuerpo y suavizar la transición entre las dos caras.

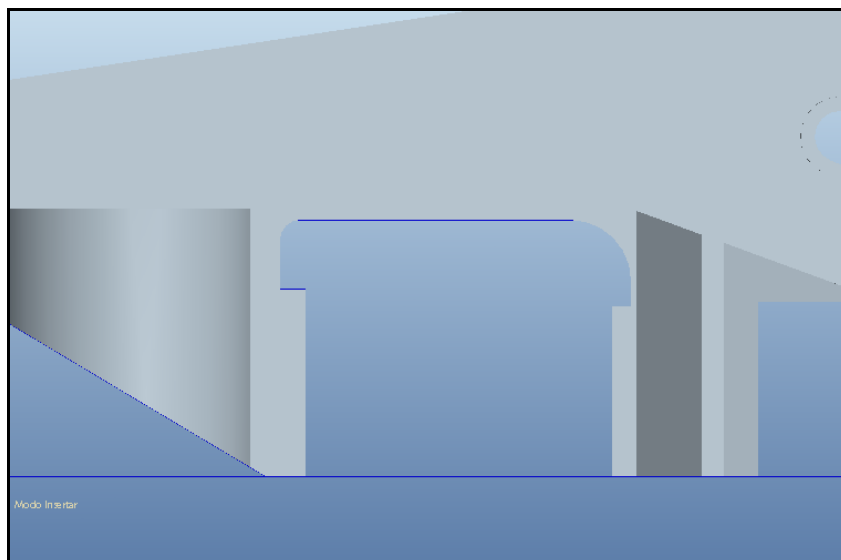


**Figura 4.83 Redondeo 1.**



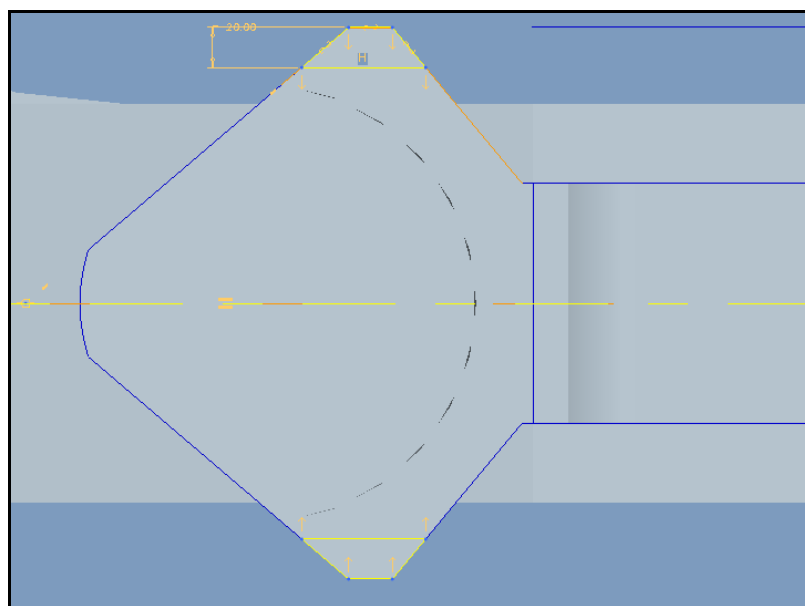
**Figura 4.84 Redondeo 2.**

El resultado final es el perfil mostrado en la figura 4.85.



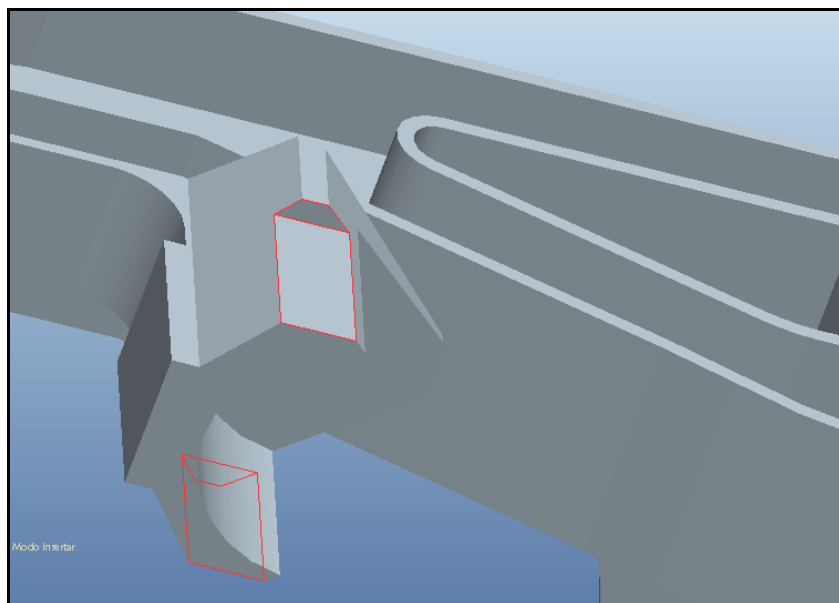
**Figura 4.85 Redondeos transición BASTIDOR-enlace.**

Vamos a dar forma a la parte interior del enlace para poder crear después las operaciones que nos servirán de unión entre la CAJA DE GRASA y el enlace del BASTIDOR. Aumentamos la superficie del lateral de esta cara dibujando en el plano inferior para poder vaciar después.



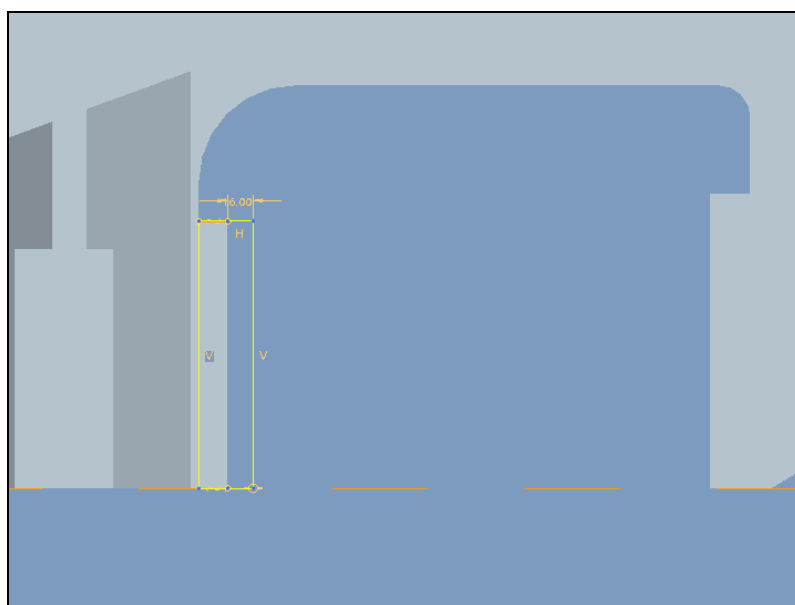
**Figura 4.86 Dibujo IVACENLACELAT3.**

Creamos el vaciado pero sin llegar al final del enlace.



**Figura 4.87 Vaciado *IVACENLACELAT3*.**

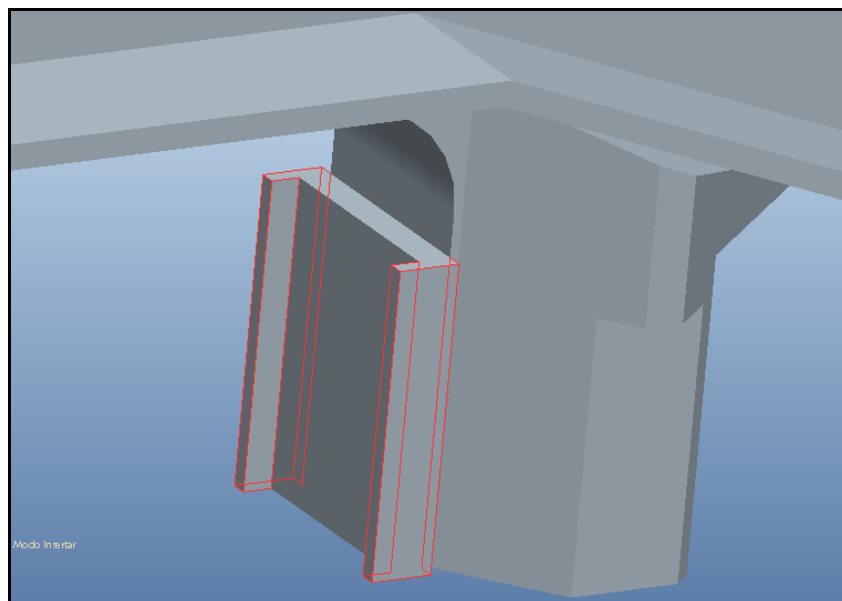
Seguimos con más operaciones para preparar el enlace a la CAJA DE GRASA. Creamos dos laterales por que nos servirán de guiado del movimiento.



**Figura 4.88 Dibujo *IENLACELAT51* y *52*.**

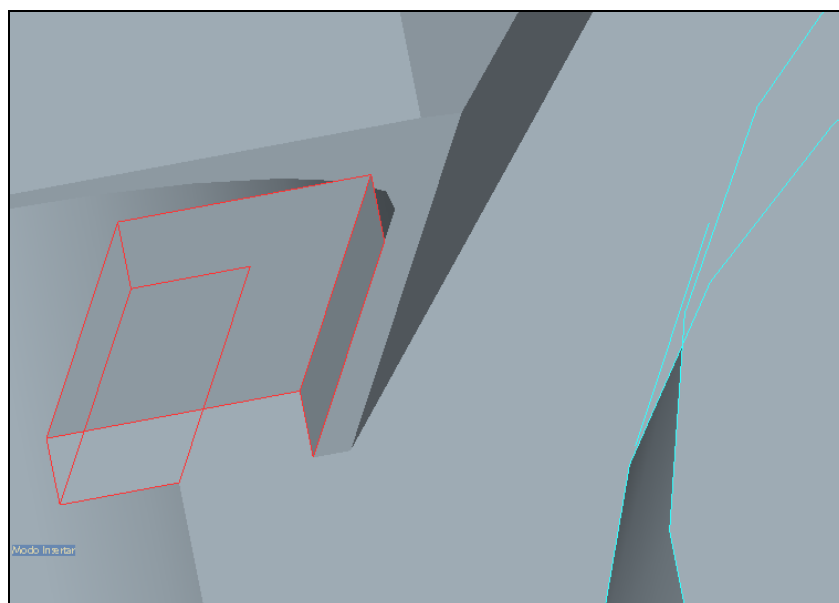
Creamos la extrusión de un lado primero y después del otro, simétrico.



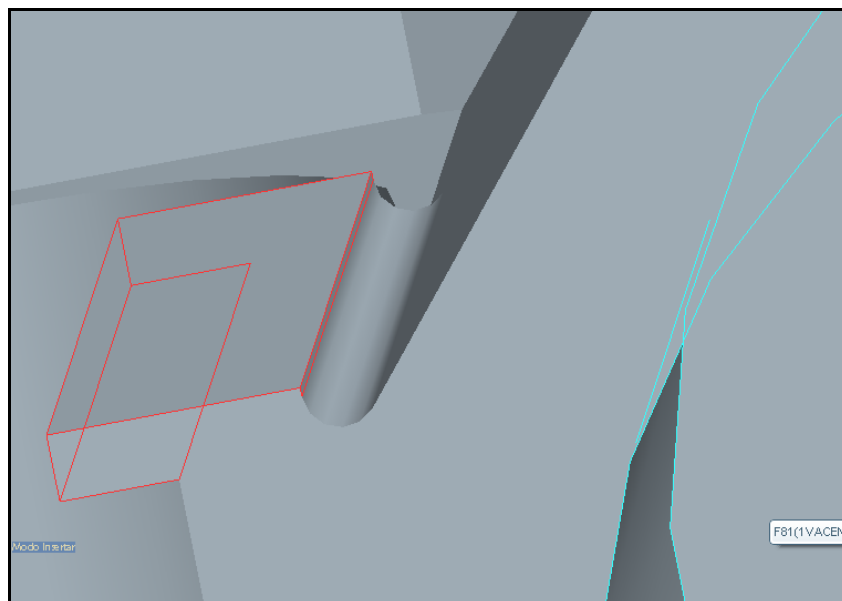


**Figura 4.89** Extrusión 1ENLACELAT51 y 52 en rojo.

Para que la transición entre este nuevo elemento y el enlace no sea tan abrupta, vamos a crear dos redondeos. Dando como resultado la imagen siguiente.

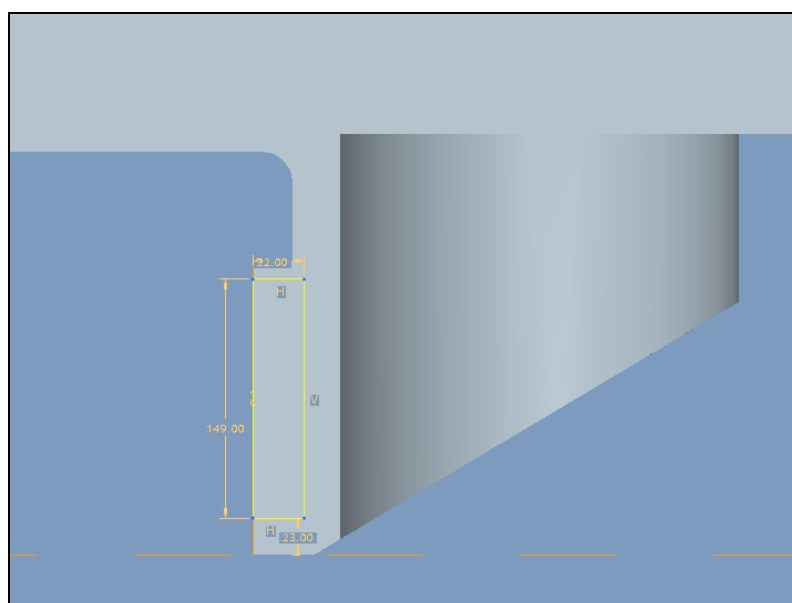


**Figura 4.90** Antes de Redondeos 3 y 4.



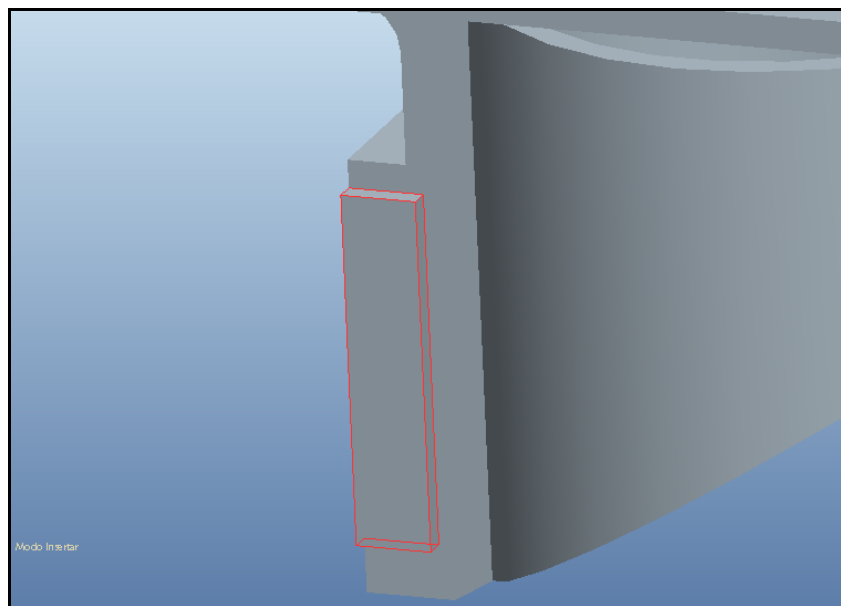
**Figura 4.91 Después de Redondeos 3 y 4.**

Ahora vamos a hacer lo mismo pero en la parte exterior del enlace. Crearemos las operaciones necesarias para poder definir a posteriori el enlace con la CAJA DE GRASA. Dibujamos el enlace a realizar en esta parte.



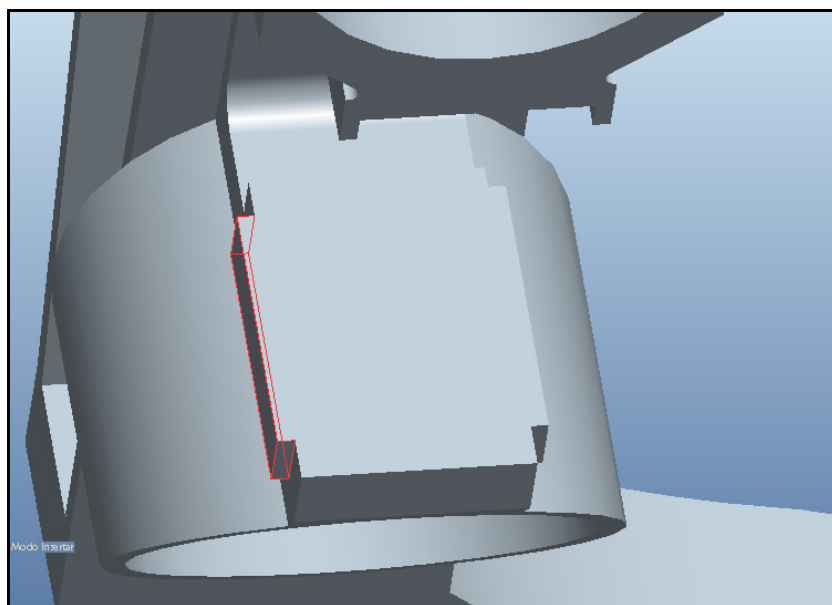
**Figura 4.92 Dibujo IENLACELAT61.**

Creamos la extrusión correspondiente.



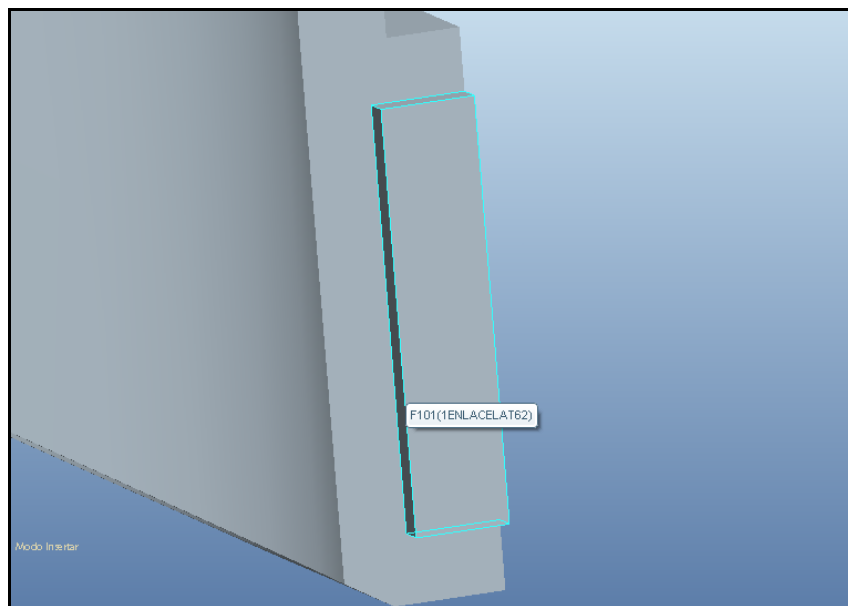
**Figura 4.93 Extrusión IENLACELAT61.**

Repetimos la misma operación en la parte lateral exterior del enlace.

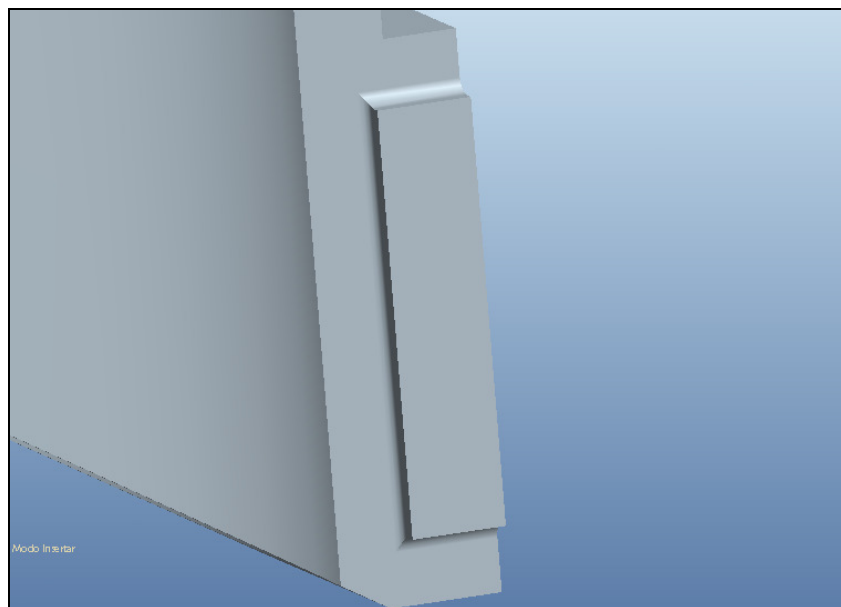


**Figura 4.94 Extrusión IENLACELAT62.**

También le aplicamos a ambas extrusiones un redondeo a lo largo de la unión entre ellos y el enlace para suavizar la transición.

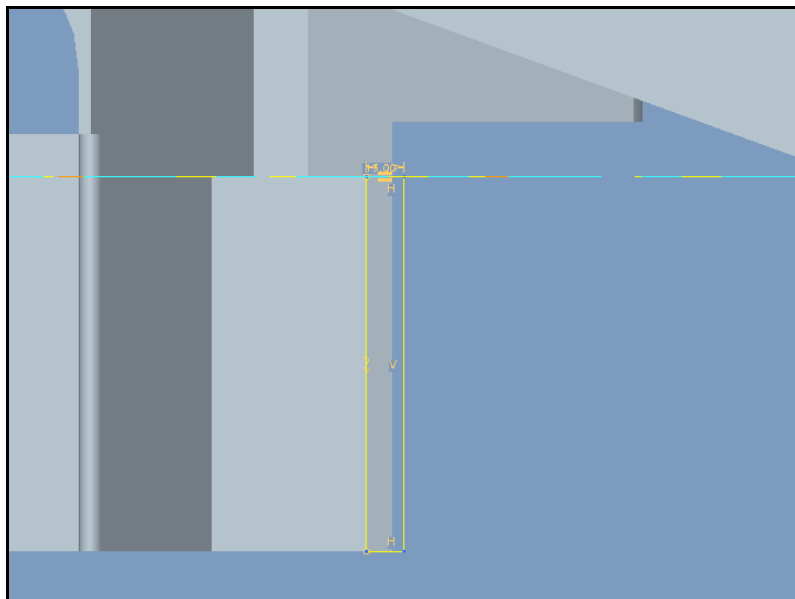


**Figura 4.95 Antes de Redondeos 5 y 6.**



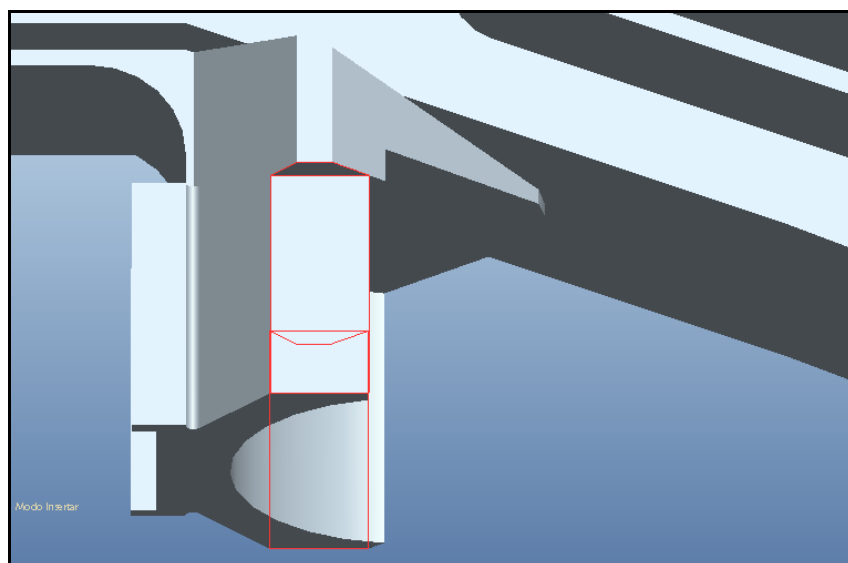
**Figura 4.96 Después de Redondeos 5 y 6.**

En la parte interior del enlace debemos quitar material en el extremo, cuyo espacio será ocupado después por otra pieza, el TOPE DEL MUELLE, que, junto con el ESLABÓN, harán de enlace con la CAJA DE GRASA. Dibujamos en el lateral el espacio que debe estar libre.



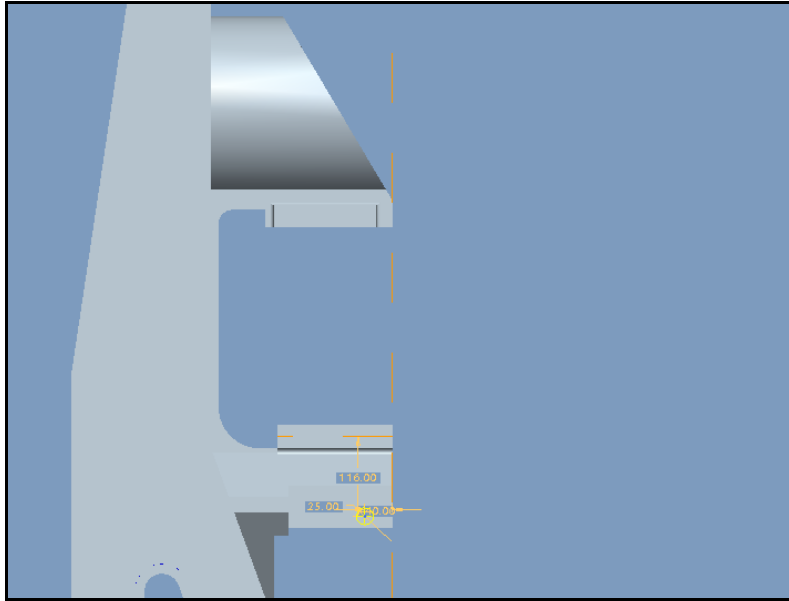
**Figura 4.97 Dibujo *IVACENLACELAT71*.**

Realizamos el vaciado de esta parte y repetiremos la operación para el otro lado del enlace.



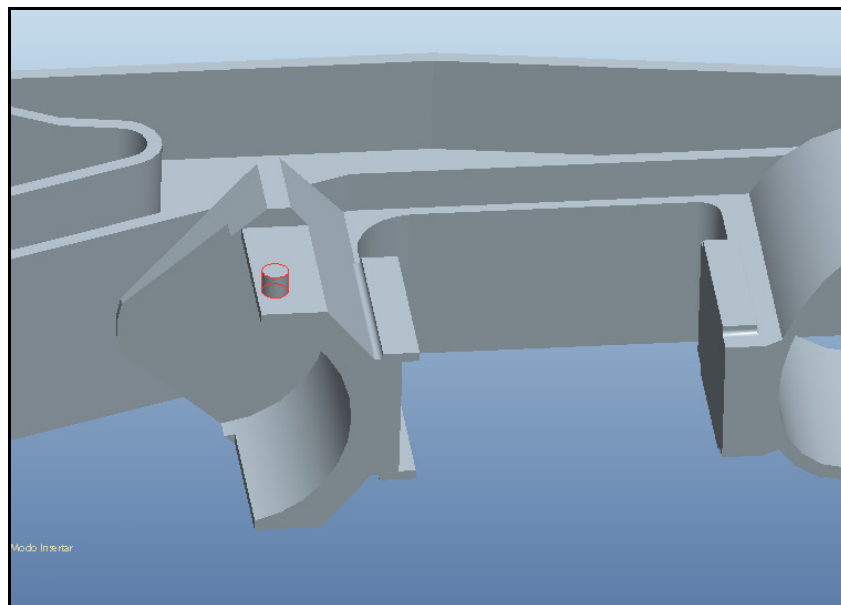
**Figura 4.98 Vaciado *IVACENLACELAT71*.**

Creamos un pivote para poder enlazar después la CAJA DE GRASA al BASTIDOR a través del ESLABÓN.



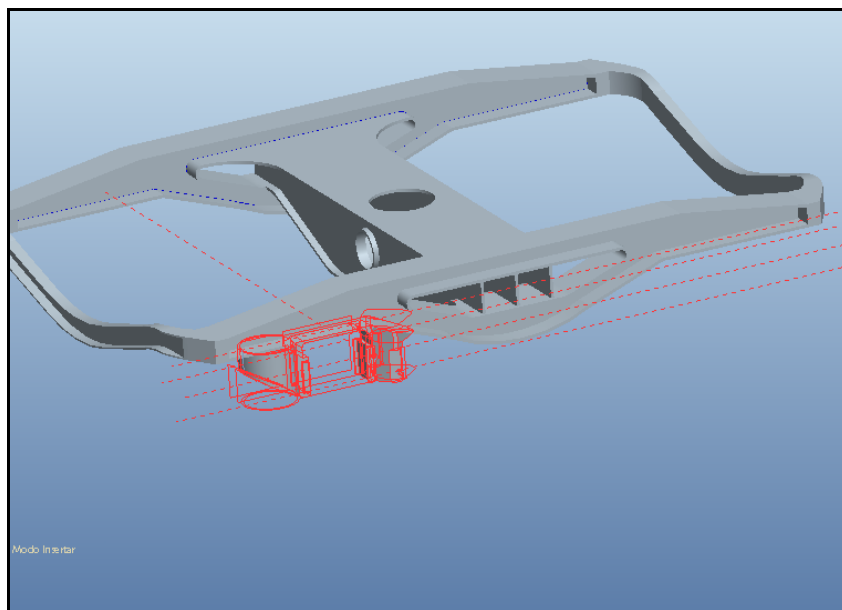
**Figura 4.99 Dibujo 1ENLACELAT41.**

Crearemos dicha extrusión del pivote también en ambas caras.



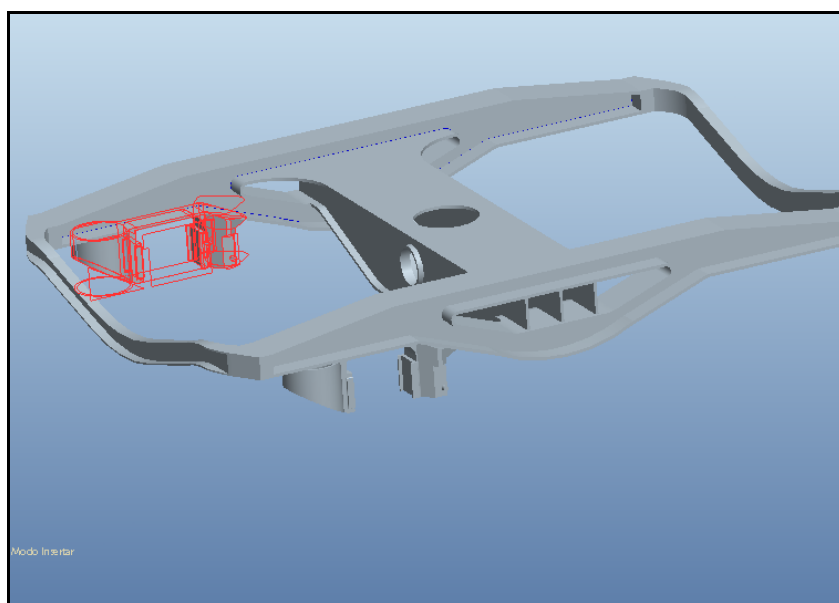
**Figura 4.100 Extrusión 1ENLACELAT41.**

Con esta última operación queda terminada la parte del enlace con la CAJA DE GRASA. A continuación hay que reproducir todas las operaciones correspondientes al enlace y crear los otros tres enlaces en el BASTIDOR. Una vez creadas las operaciones para un enlace, las agruparemos para organizarlas y poder identificarlas o localizarlas a la hora de hacer modificaciones. Utilizamos como referencias al dibujo los planos de simetría del BASTIDOR creados para definir las posiciones de los enlaces.



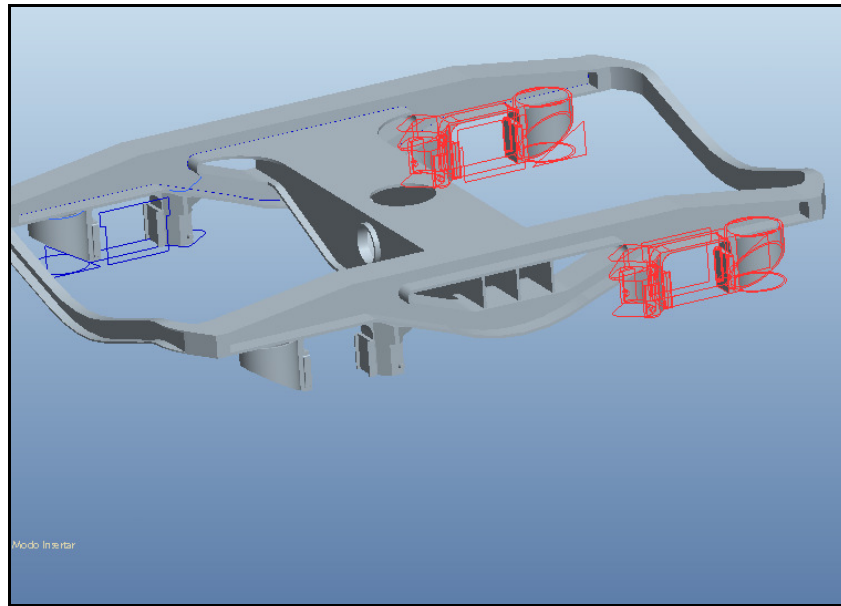
**Figura 4.101 Grupo ENLACE1.**

Repetimos todas las operaciones creando el enlace2 en el BASTIDOR y las agrupamos.



**Figura 4.102 Grupo ENLACE2.**

Lo mismo para el enlace 3 y el enlace 4, reproducimos las operaciones en cada posición del BASTIDOR.



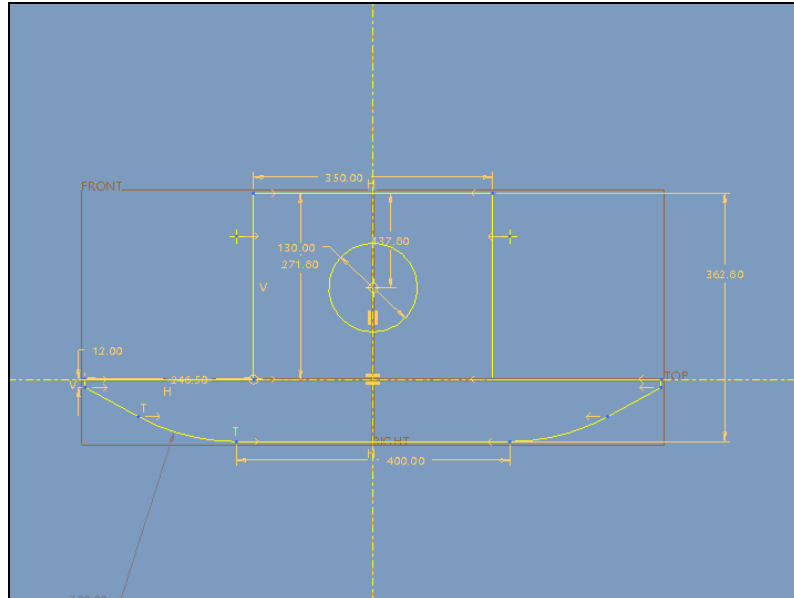
**Figura 4.103 Grupo ENLACE3 y ENLACE 4.**

Damos por terminado el diseño del BASTIDOR.



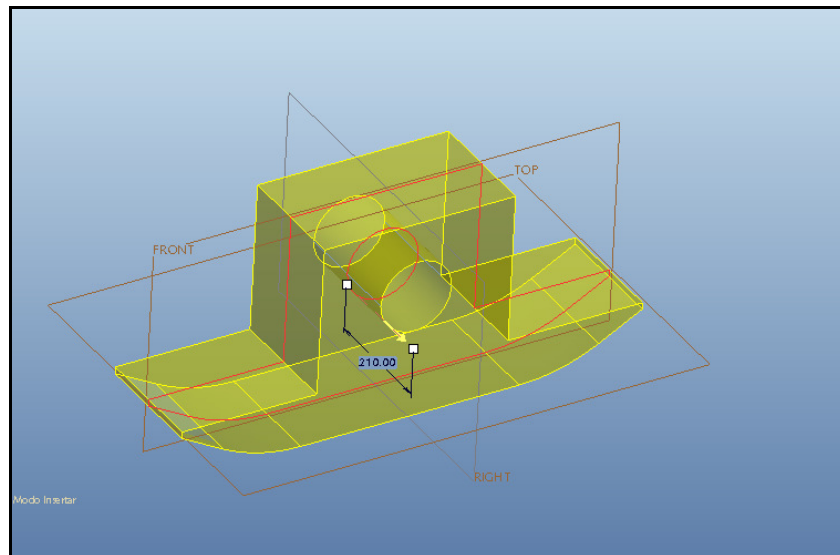
### **4.3 CAJA DE GRASA**

La codificación de las operaciones en la CAJA DE GRASA no será necesaria, no tiene el nivel de complejidad del BASTIDOR. Utilizamos el plano FRONT como plano de dibujo y el TOP y el RIGHT como referencias. Dibujamos todo el frontal de la pieza que vamos a crear.



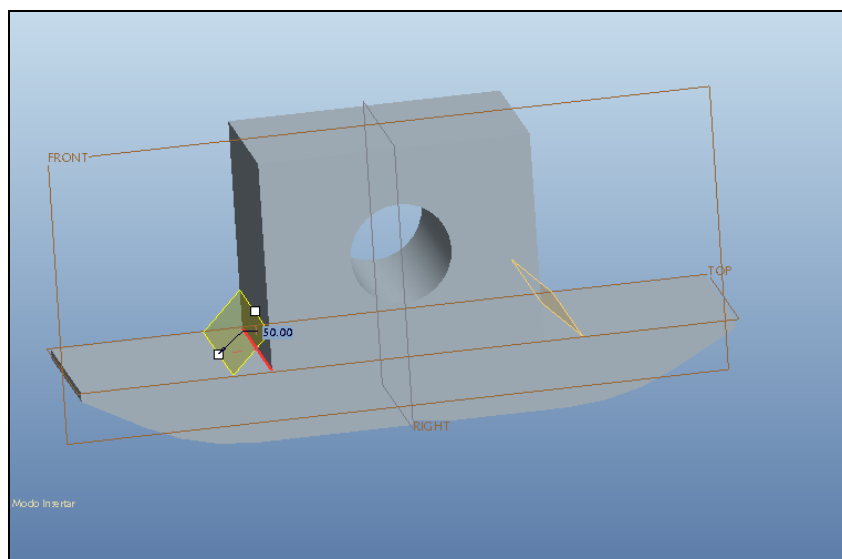
**Figura 4.104 Dibujo CAJA DE GRASA.**

Definimos una extrusión simétrica respecto al plano de dibujo FRONT.



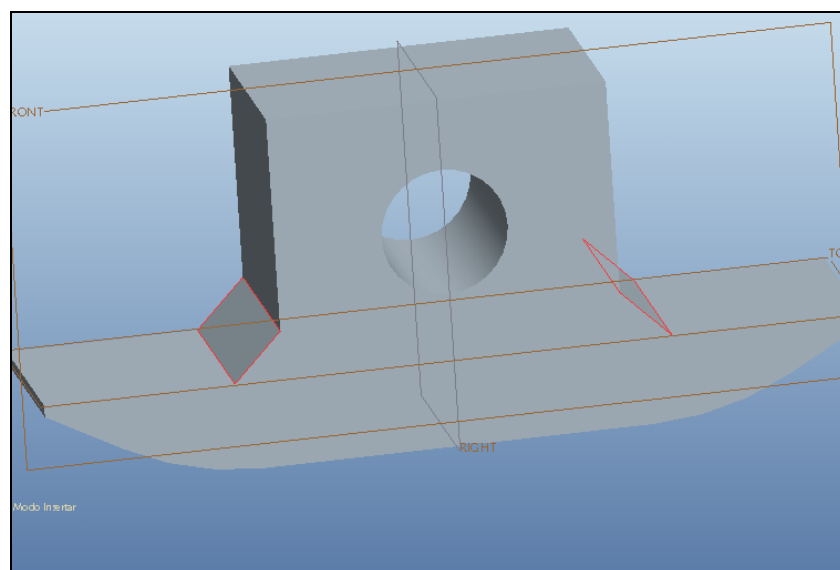
**Figura 4.105 Extrusión CAJA DE GRASA.**

Creamos dos chaflanes de igual distancia a ambos lados en la parte inferior.

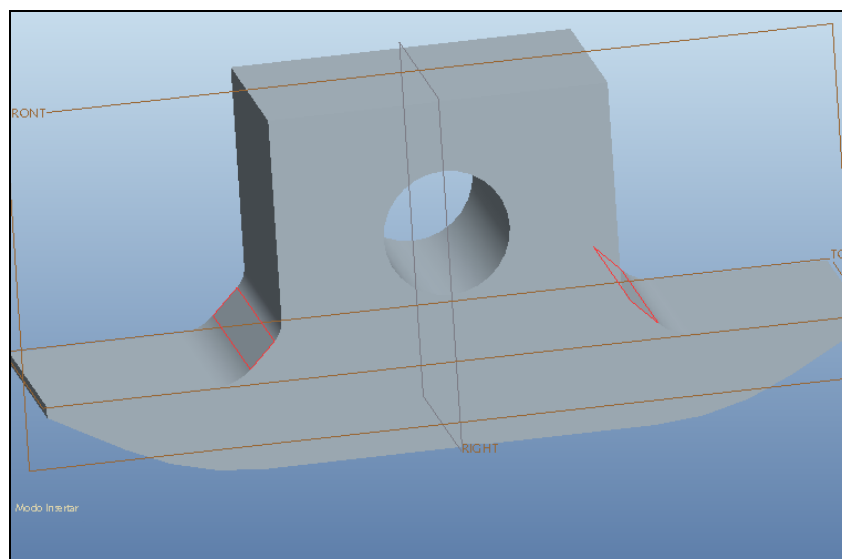


**Figura 4.106 Dibujo CHAFLÁN.**

Para suavizar la transición y asemejarlo más a la pieza real, redondeamos los extremos del chaflán con dos operaciones de redondeo.

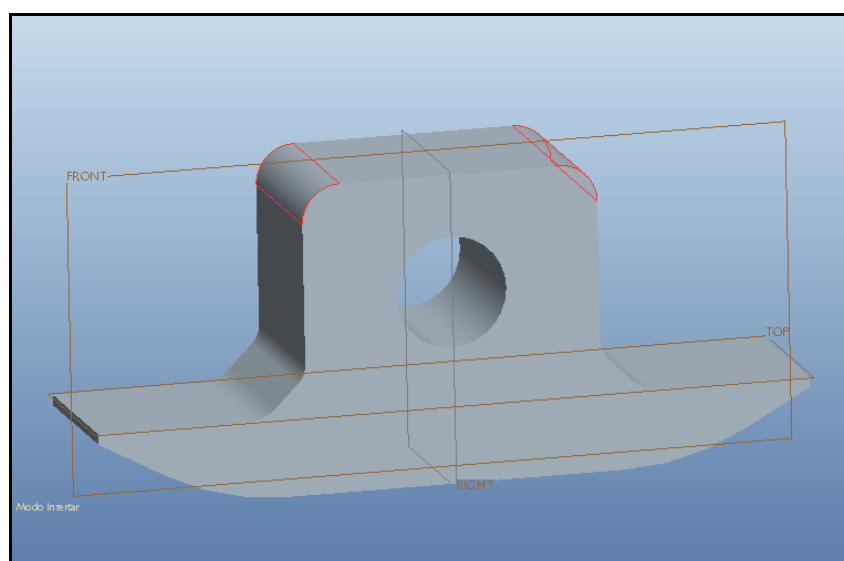


**Figura 4.107 Antes de Redondeos 1 y 2.**



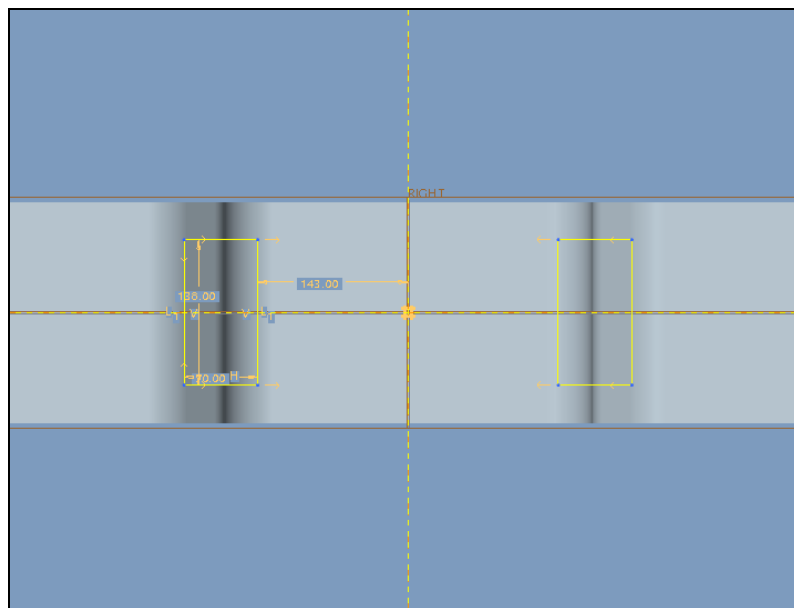
**Figura 4.108 Después de Redondeos 1 y 2.**

Creamos también otro en la parte superior quedando el contorno más parecido a la pieza del plano.



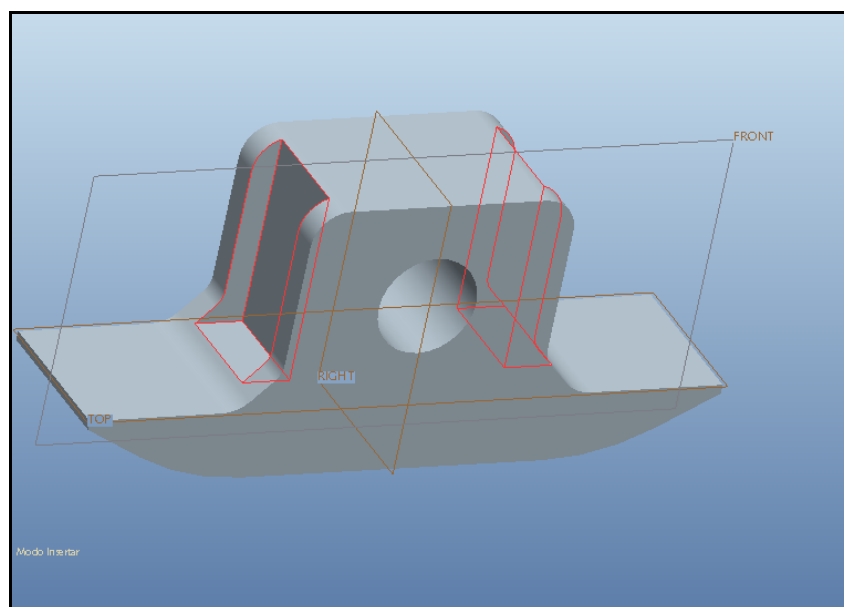
**Figura 4.109 Redondeos 3.**

Ahora damos forma a la zona que servirá de enlace con el BATIDOR. Dibujamos en el plano superior.



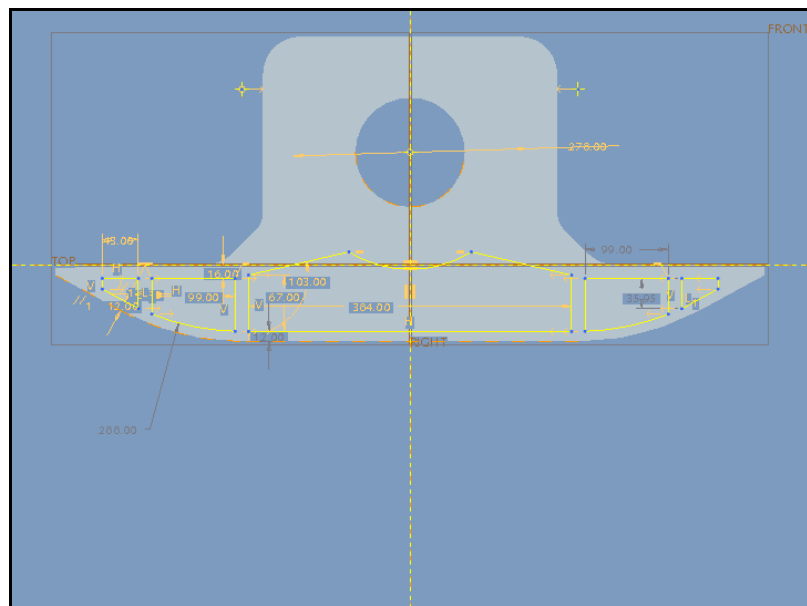
**Figura 4.110 Dibujo *ENLACE\_VERTICAL*.**

Vaciamos para darle forma a la zona del enlace pero sin llegar al final de la pieza.



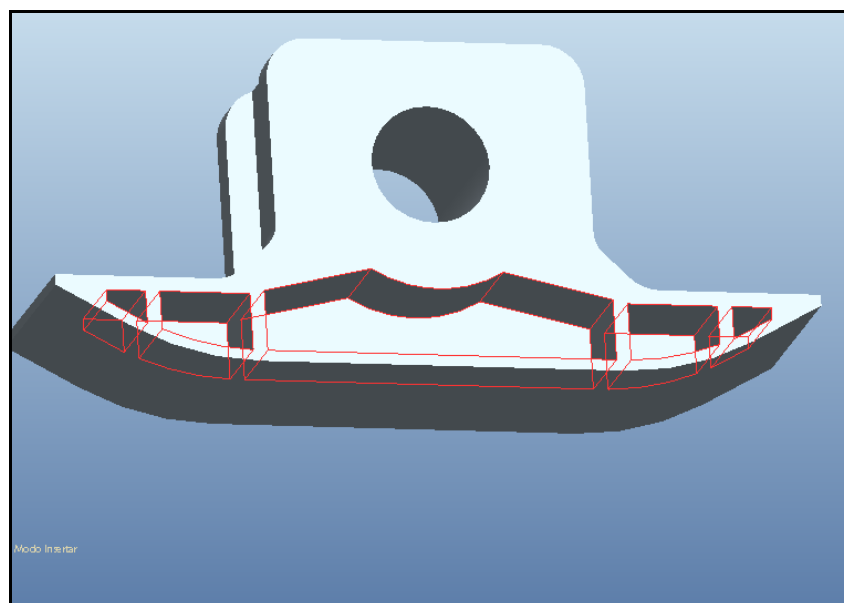
**Figura 4.111 Vaciado *ENLACE\_VERTICAL*.**

Como en el plano del bogie, en la parte inferior de la pieza se aprecian unas formas de vaciado, reproducimos dichas figuras en la cara exterior en la zona frontal. Dibujamos en el plano correspondiente a esa cara.



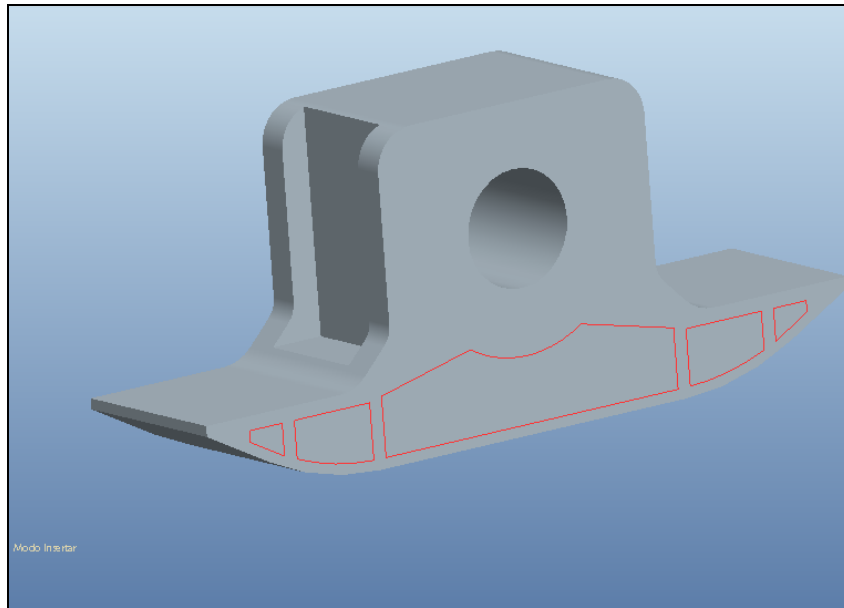
**Figura 4.112 Dibujo *VACIADO\_INFI*.**

Realizamos el vaciado de esta parte de la pieza.



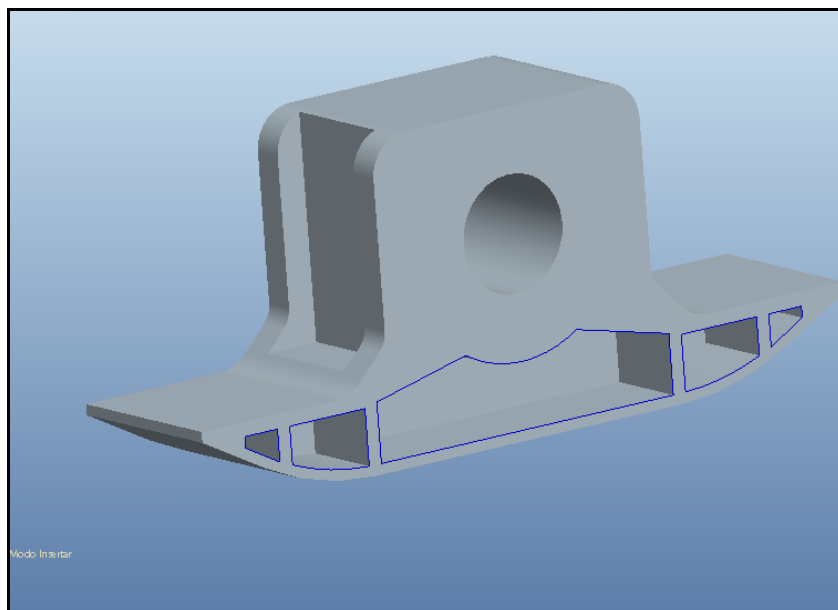
**Figura 4.113 Vaciado *VACIADO\_INFI*.**

Repetimos la operación para la otra cara de la pieza dibujando la misma figura pero en la cara opuesta. Para ello utilizamos la herramienta proyección y creamos el dibujo.



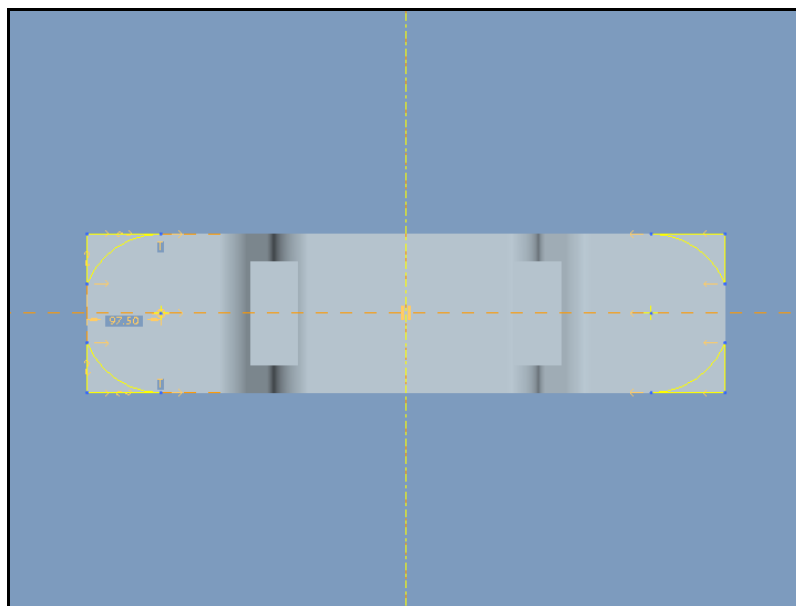
**Figura 4.114** Proyección dibujo *VACIADO\_INF1*.

Realizamos la correspondiente operación de vaciado en dicha cara.



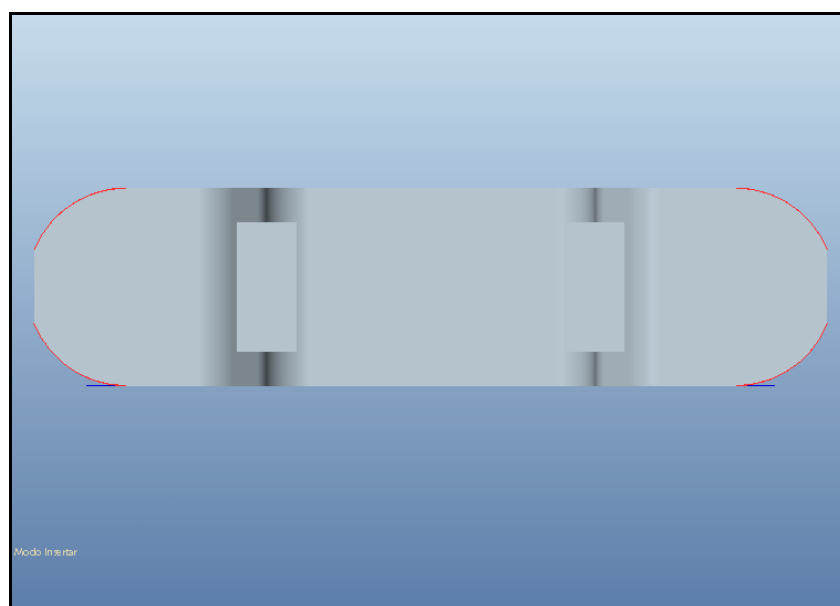
**Figura 4.115** Vaciado *VACIADO\_INF2*.

Daremos forma a ambos extremos de la pieza quitando material de las esquinas.



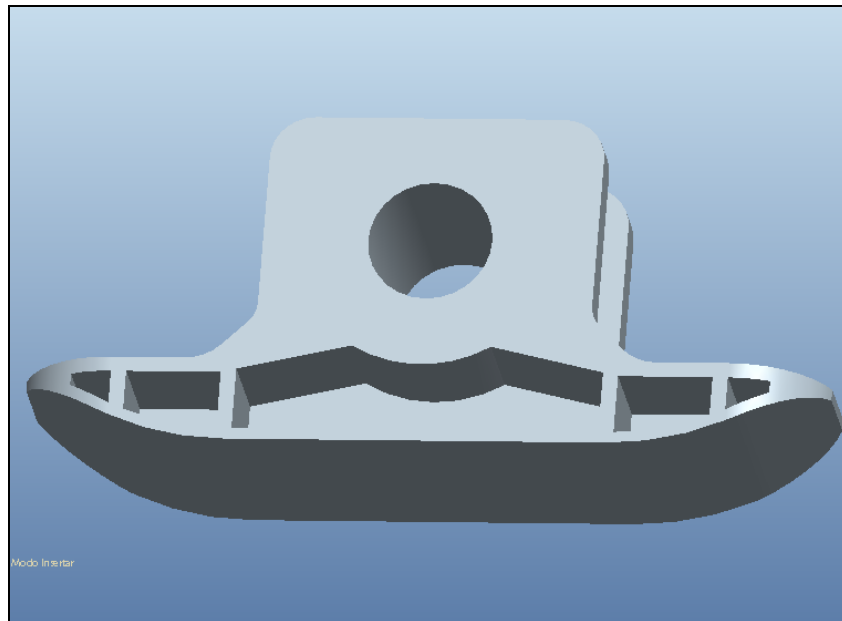
**Figura 4.116 Dibujo *PERFIL*.**

Vaciamos el perfil del dibujo realizado, dando como resultado la pieza del plano.

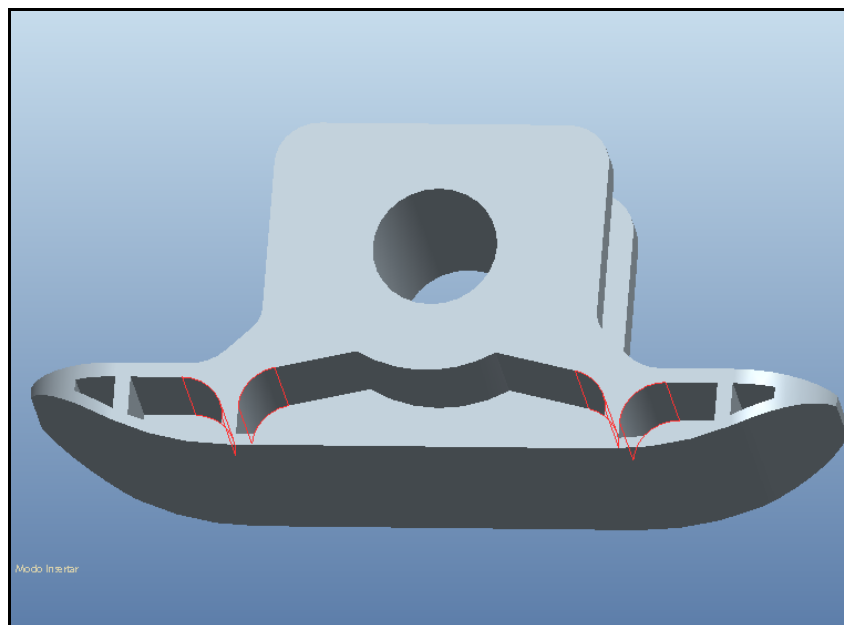


**Figura 4.117 Vaciado *PERFIL*.**

Para asemejarlo más al plano vamos a añadir algo de material en la zona central con dos operaciones de redondeo en la parte inferior, donde hemos hecho el vaciado en ambas caras. Hacemos un primer redondeo.



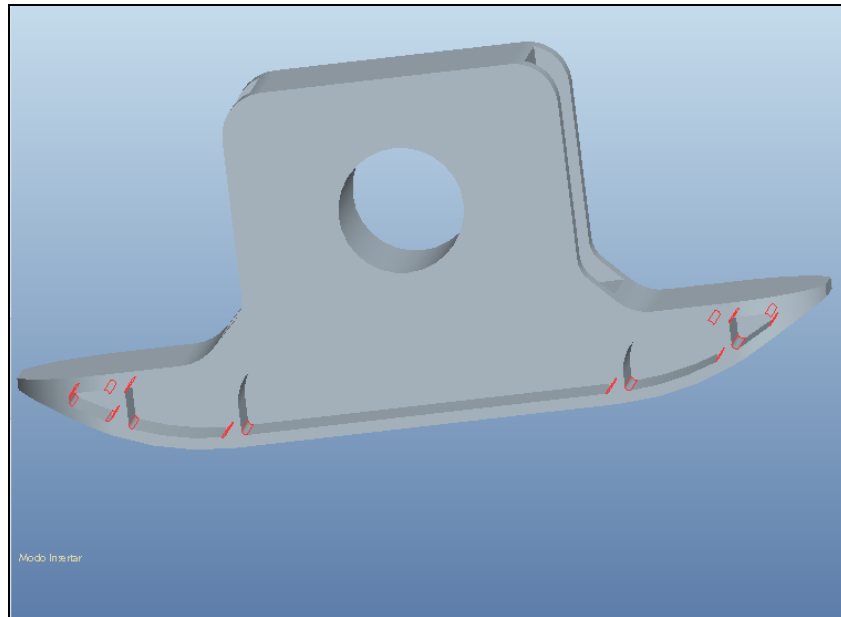
**Figura 4.118 Antes de Redondeos 4.**



**Figura 4.119 Después de Redondeos 4.**

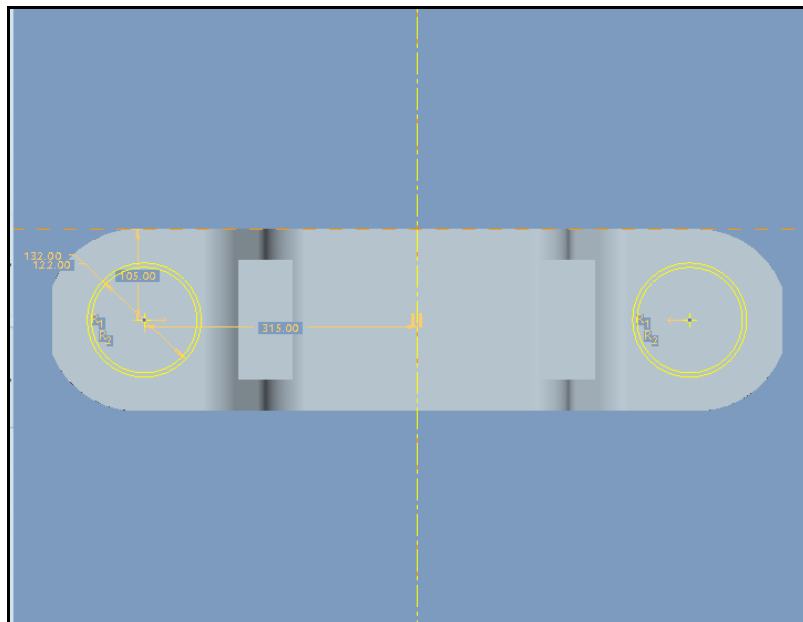
Y un segundo para el resto de aristas pero estos, algo más suaves.





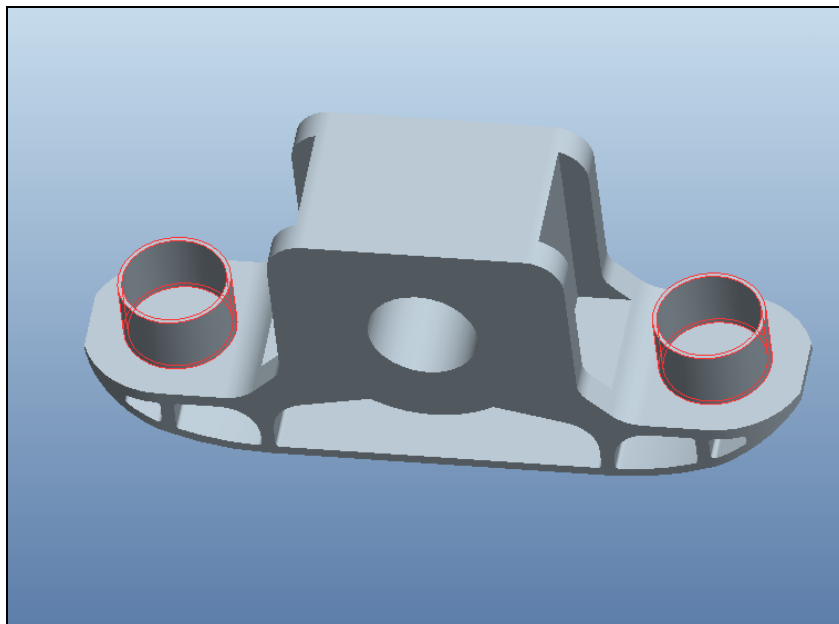
**Figura 4.120 Redondeo 5.**

Para terminar, necesitamos diseñar en la pieza las operaciones que usaremos para crear los enlaces entre la CAJA DE GRASA y el BASTIDOR, tanto para definir la posición de uno respecto al otro como el tipo de enlace. En este caso serán un muelle y un amortiguador y se definirán en el módulo de conjunto y mecanismo del CREO. De momento en esta fase dibujamos dos círculos concéntricos que son los encargados de definir el centro del eje del enlace.



**Figura 4.121 Dibujo CAJA MUELLES.**

Definimos la extrusión del dibujo y nos queda.



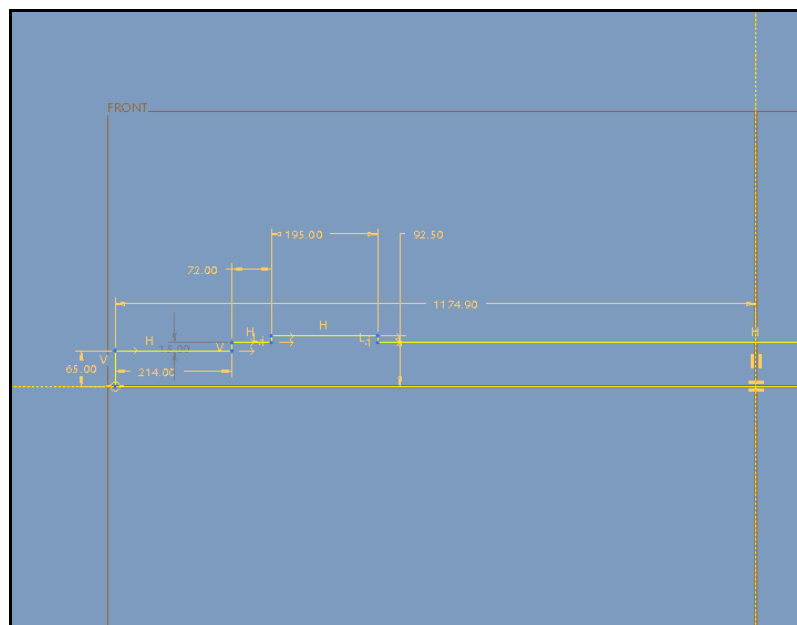
**Figura 4.122 Extrusión CAJA MUELLES.**

Con esta operación hemos terminado el diseño de la CAJA DE GRASA.

#### **4.4 EJE-RUEDA**

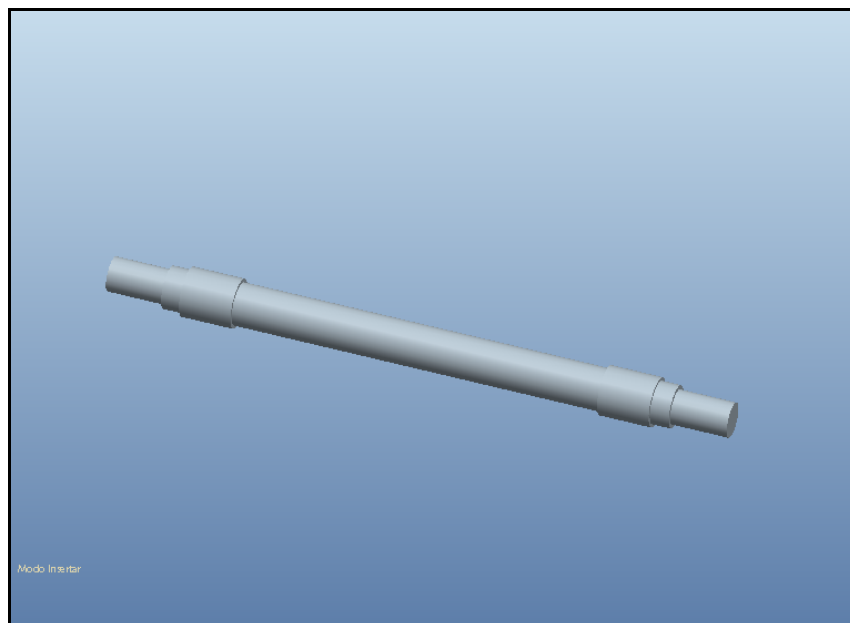
En esta pieza necesitaremos seguir una codificación en las operaciones para identificar y poder seguir un orden en creación de la pieza EJE-RUEDA. Se nombrarán de forma descriptiva, dependiendo de la zona de la rueda a crear seguidas de un número que nos indicará la secuencia seguida.

Primero crearemos el eje y a continuación las ruedas, todo como pieza de revolución y pasaremos a darles forma y diseñar en detalle. Para crear el eje dibujamos sólo la mitad, ya que la otra parte es simétrica. Con la correspondiente operación creamos la otra mitad eligiendo el eje de simetría.



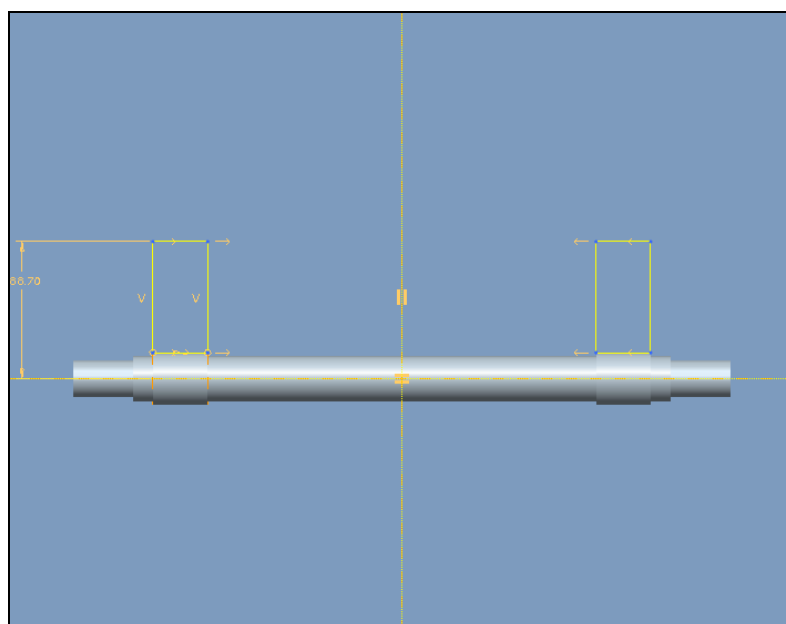
**Figura 4.123 Dibujo EJE.**

Creamos una extrusión de revolución y nos queda definido el eje completo.



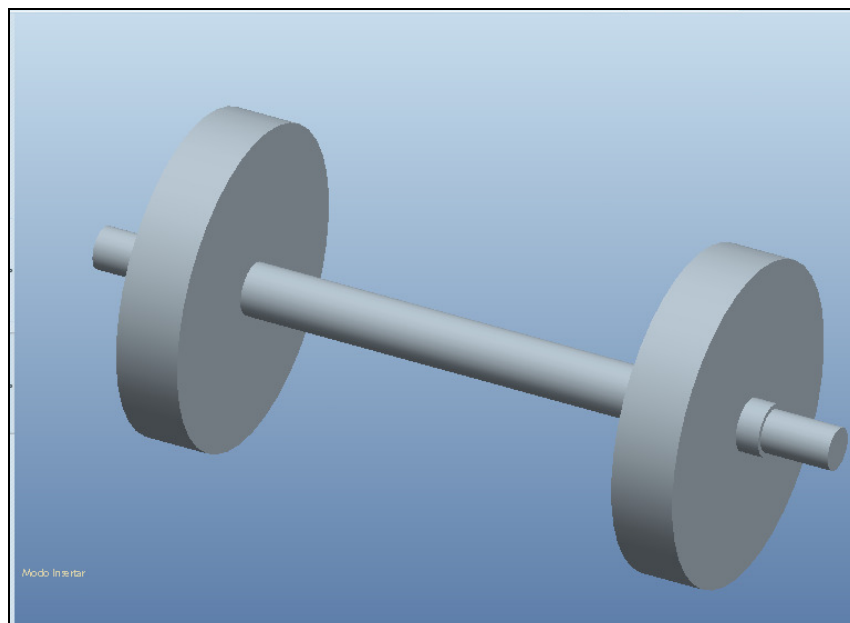
**Figura 4.124 Extrusión EJE.**

Dibujamos en la zona del eje donde irán las ruedas dos rectángulos para luego darles forma.



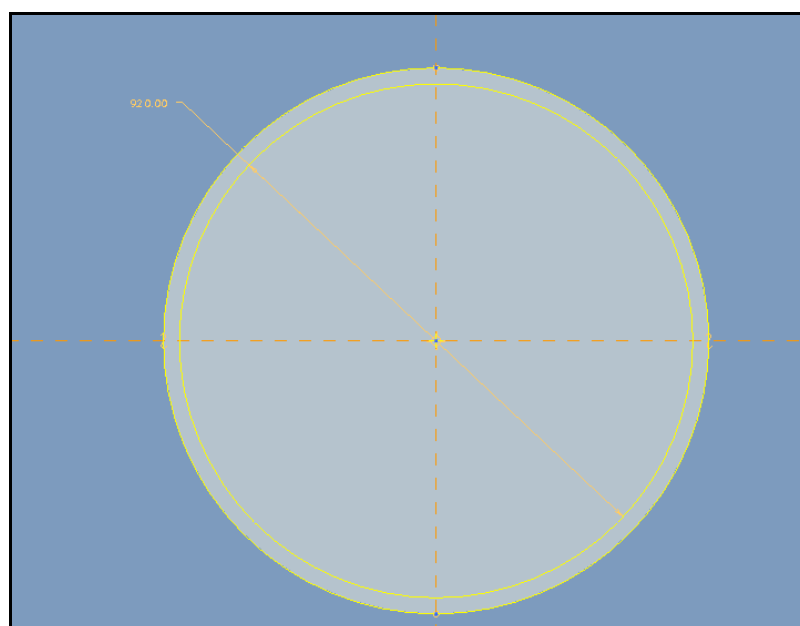
**Figura 4.125 Dibujo RUEDAS.**

Realizamos también una extrusión de revolución.



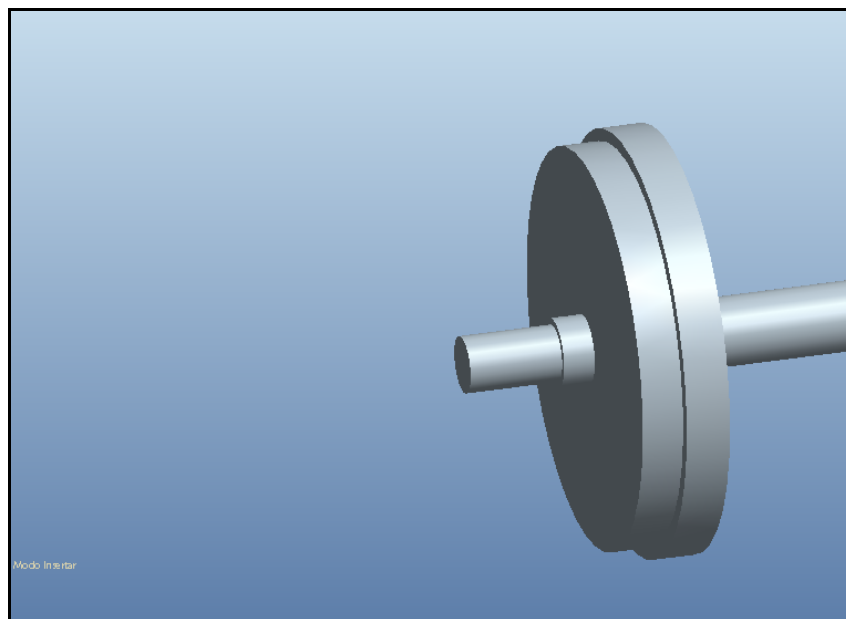
**Figura 4.126 Extrusión RUEDAS.**

Ahora pasaremos a crear el escalón en la zona de rodadura de la rueda. Dibujamos en la cara exterior un círculo concéntrico que nos dará la forma en el perfil.



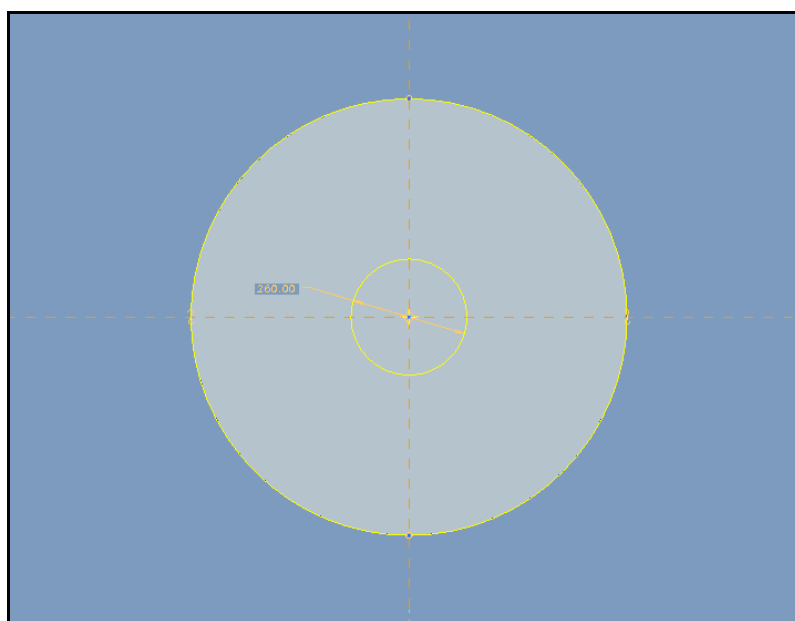
**Figura 4.127 Dibujo RUEDA11.**

Realizamos el vaciado de este dibujo y nos queda lo siguiente.



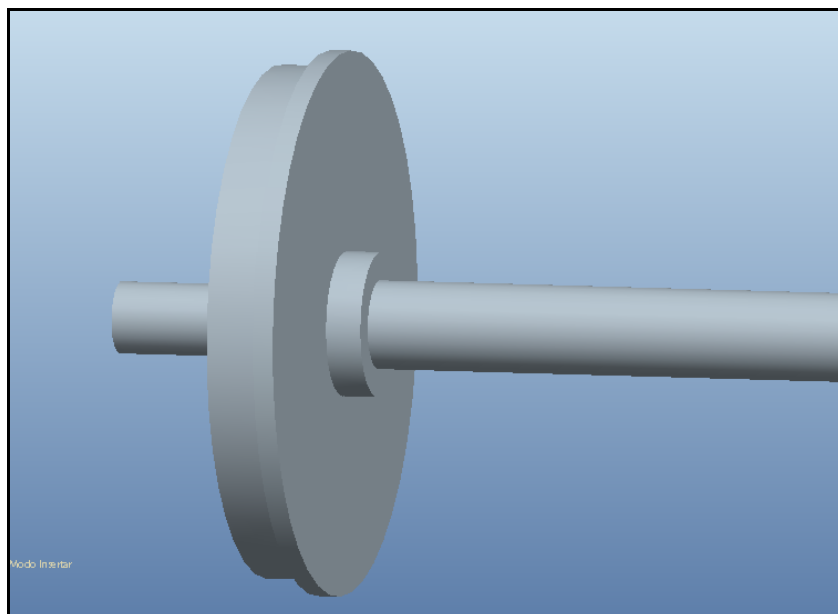
**Figura 4.128 Vaciado RUEDA11.**

Ahora empezaremos a darle forma a la cara interior. Primero dibujamos un simple vaciado. Definiendo la recrez del eje, que será la transición entre los diámetros del eje y la rueda.



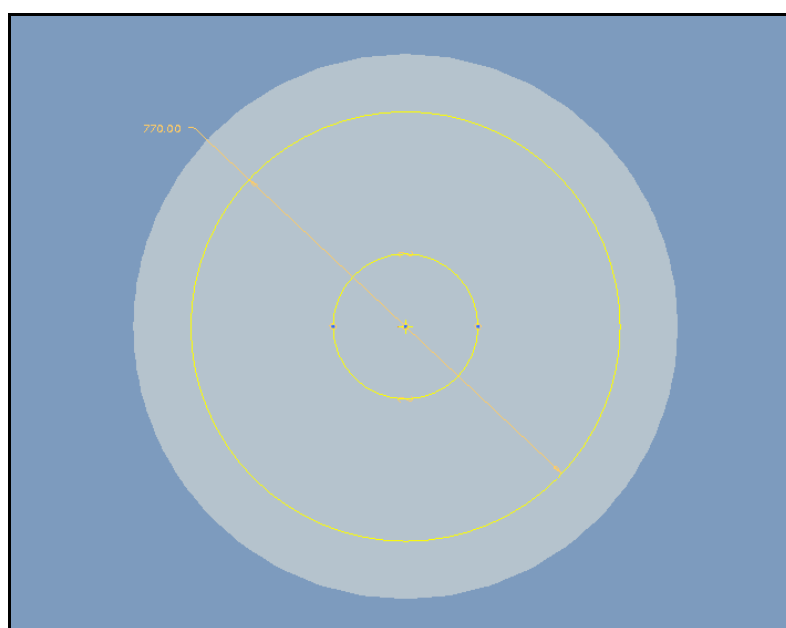
**Figura 4.129 Dibujo CARAINT11.**

Realizamos la correspondiente operación de vaciado de dicha cara interior.



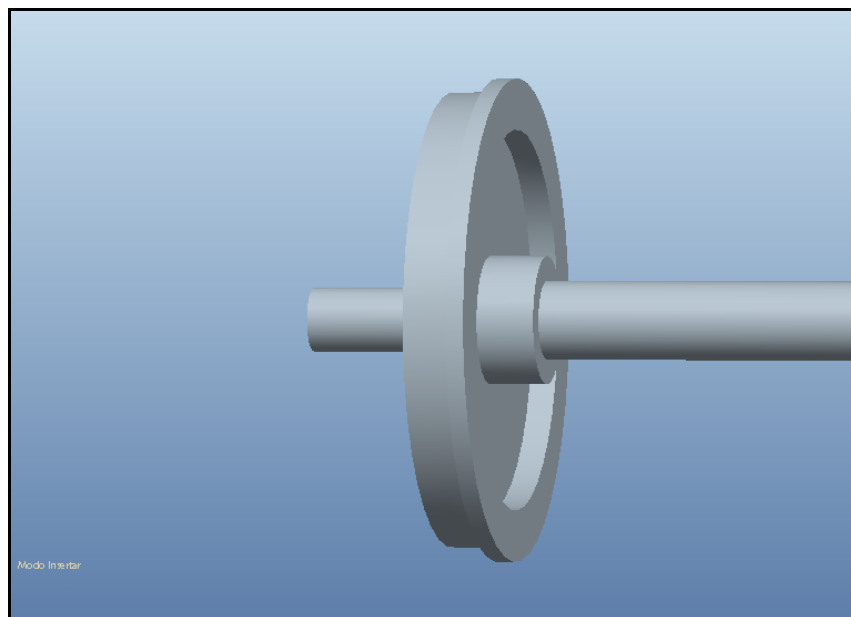
**Figura 4.130 Vaciado CARAINT11.**

Como segunda parte de la definición de la cara interior, definiremos el siguiente vaciado que dará ya la forma de esta cara de la rueda. Dibujamos la forma con las dimensiones requeridas según plano.



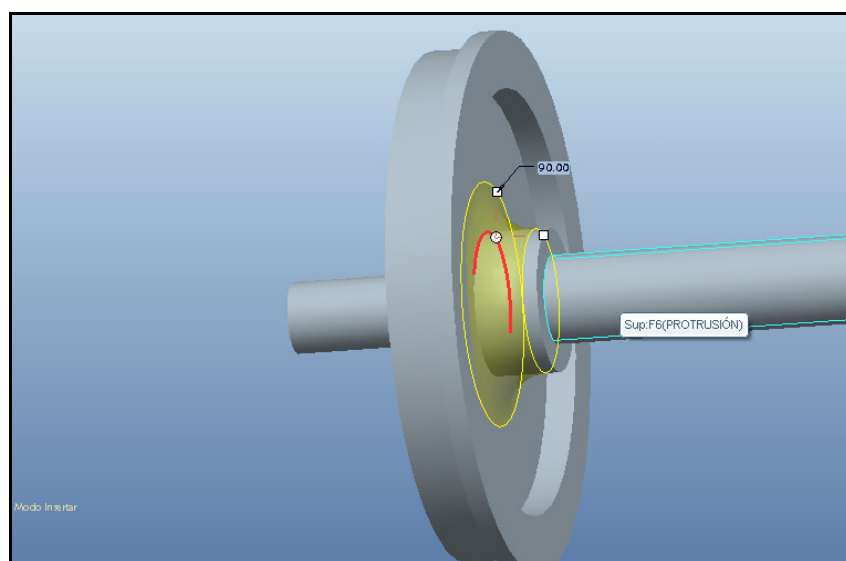
**Figura 4.131 Dibujo CARAINT12.**

Definimos el vaciado hasta la profundidad que nos dé el perfil de la rueda.



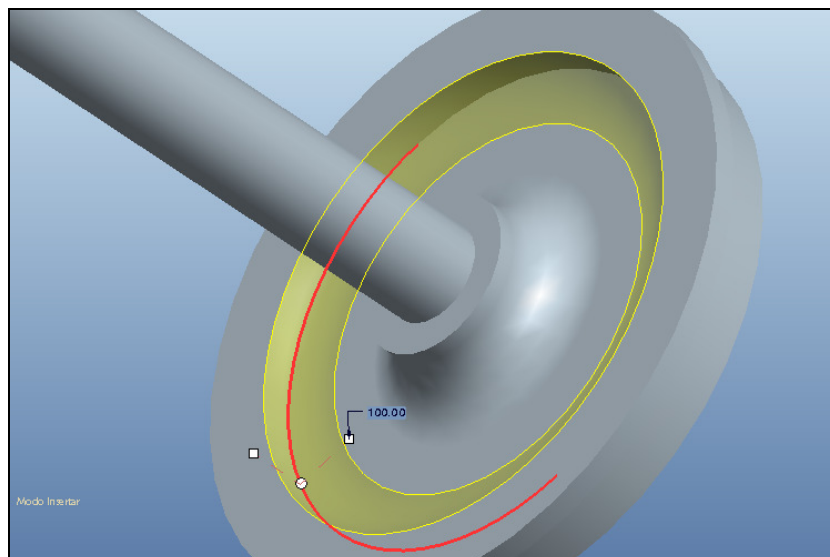
**Figura 4.132 Vaciado CARAINT12.**

Para ajustar la figura actual a la forma final se hará con operaciones de redondeo. Definiremos dos, una para el diámetro interior y otra para el exterior.



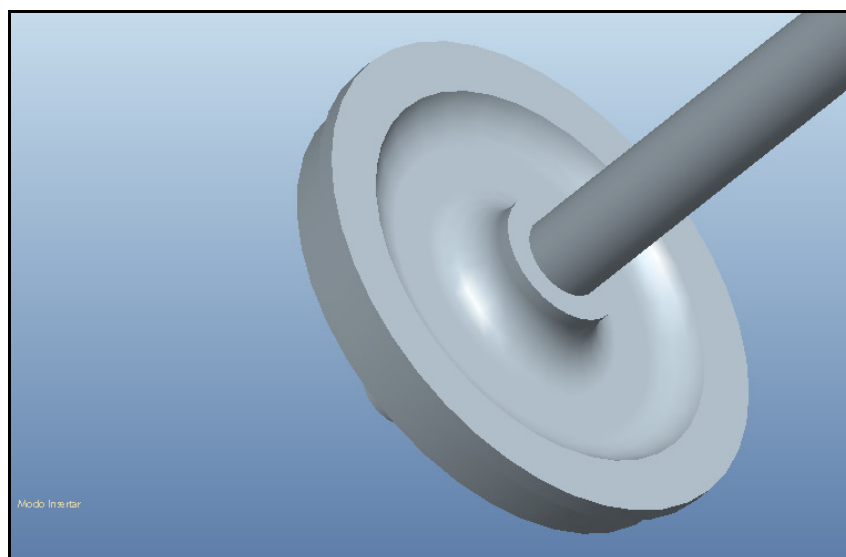
**Figura 4.133 Redondeo diámetro interior.**





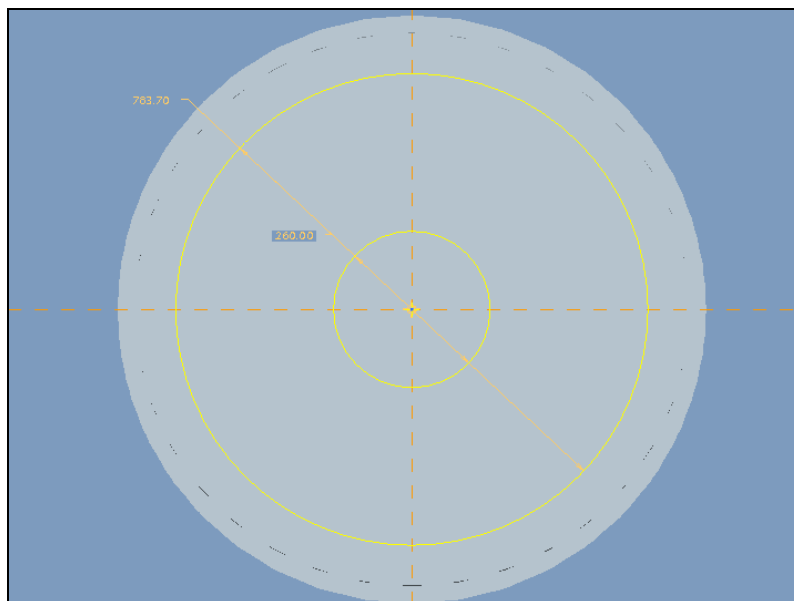
**Figura 4.134 Redondeo diámetro exterior.**

Daríá como resultado de diseño del interior de la rueda.



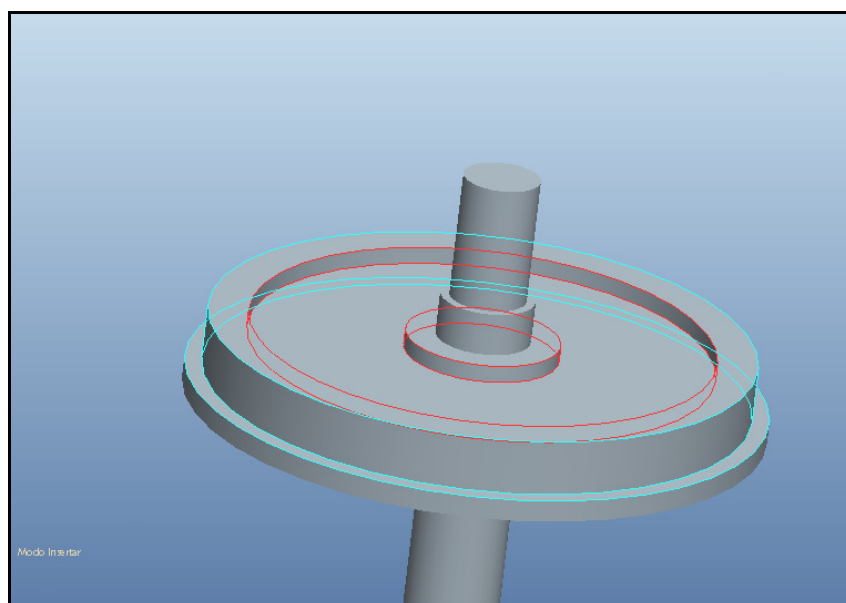
**Figura 4.135 Resultado diseño interior rueda.**

A continuación diseñaremos la parte exterior de la rueda. Dibujamos en la cara exterior las dimensiones del vaciado que le dará forma a esta parte. Procederemos de la misma manera que en la zona interior, con dos vaciados y un ajuste final con redondeos.



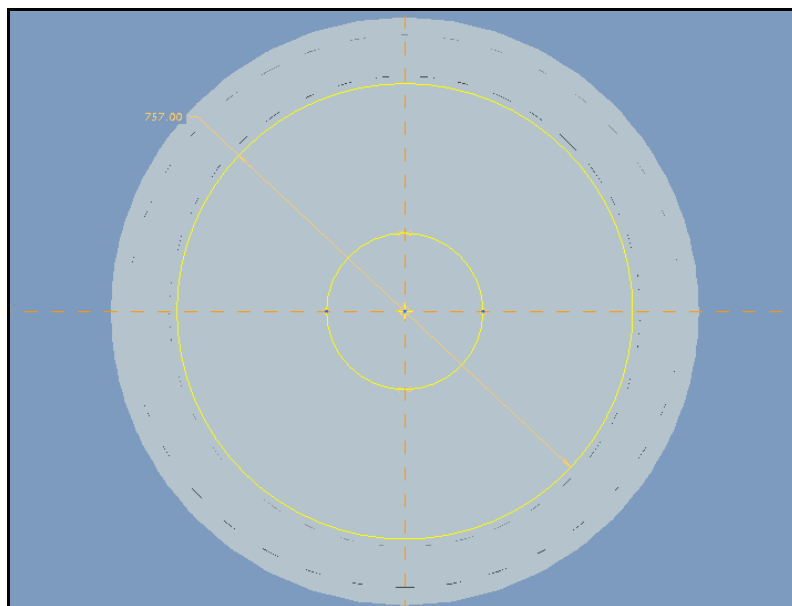
**Figura 4.136 Dibujo CARAEXT11.**

Definimos el primer vaciado de la cara exterior.



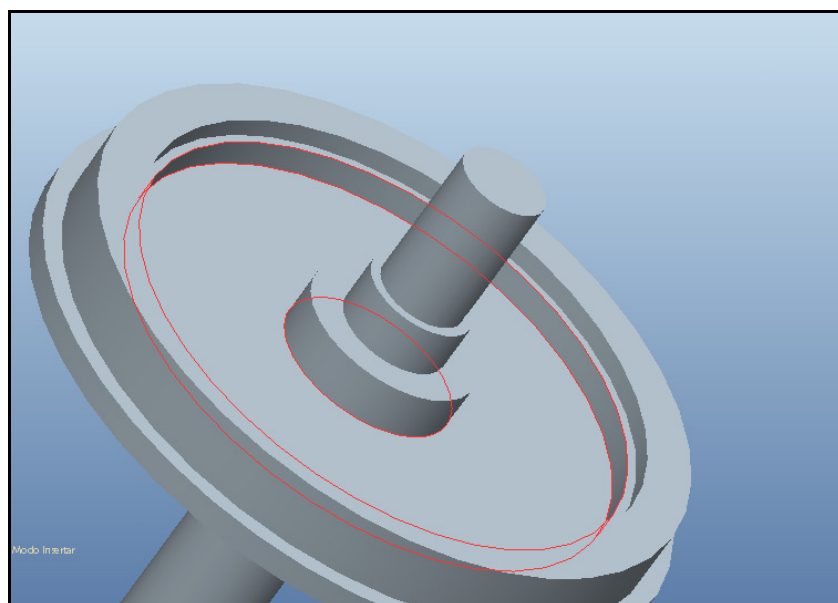
**Figura 4.137 Vaciado CARAEXT11 en rojo.**

Dibujamos las dimensiones del segundo vaciado en esta cara.



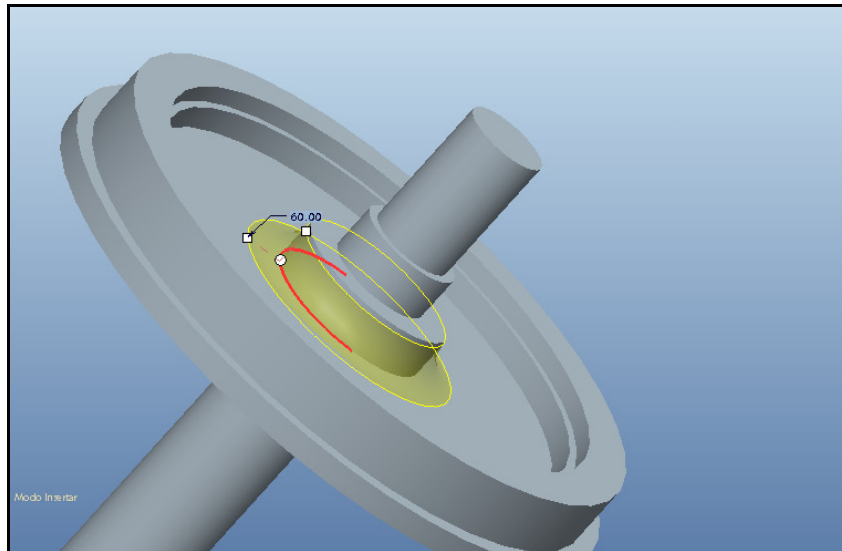
**Figura 4.138 Dibujo CARAEXT12.**

Definimos el vaciado hasta la profundidad deseada para crear la forma de esta cara exterior de la rueda.

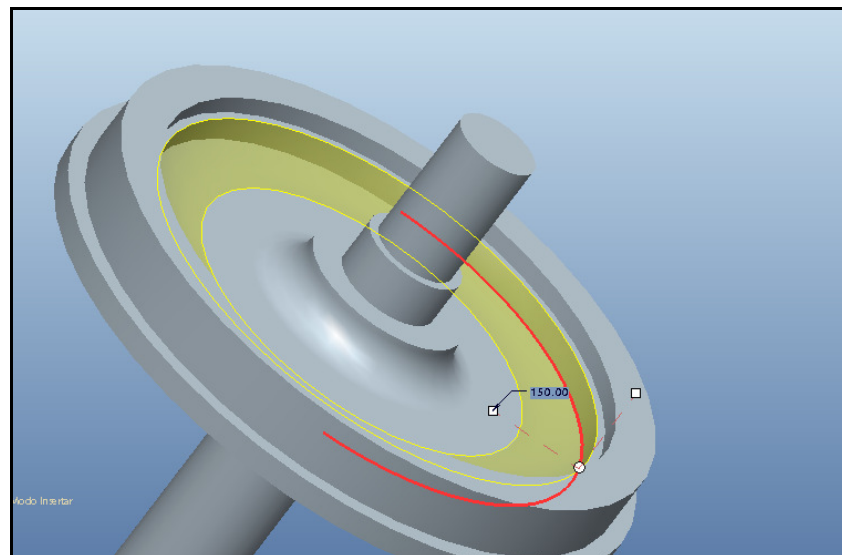


**Figura 4.139 Vaciado CARAEXT12 en rojo.**

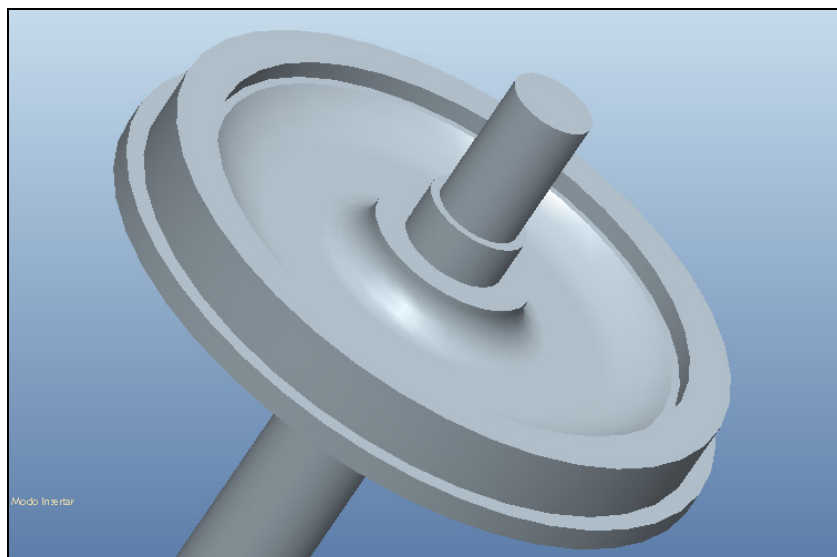
Una vez definidos los vaciados utilizamos la operación de redondeo para terminar de dar forma a esta cara de la rueda. También realizaremos dos, uno en el diámetro interior y otro en el exterior.



**Figura 4.140 Redondeo diámetro interior.**

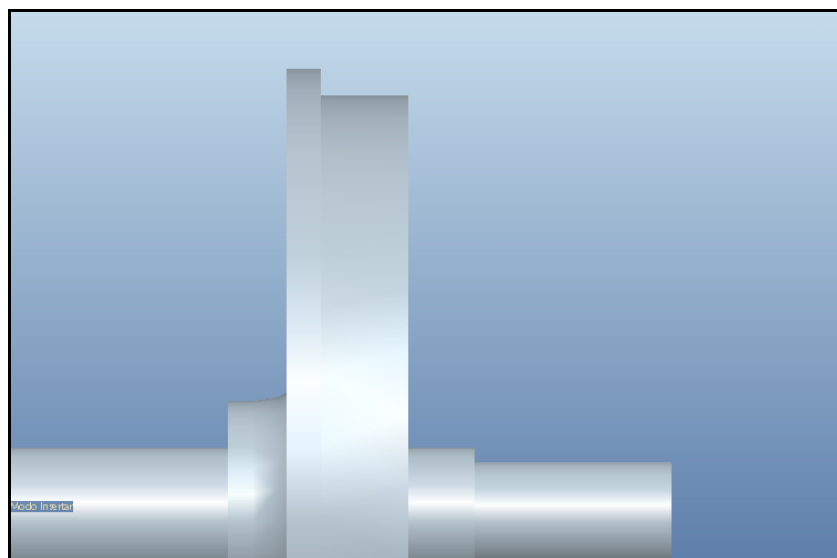


**Figura 4.141 Redondeo diámetro exterior.**

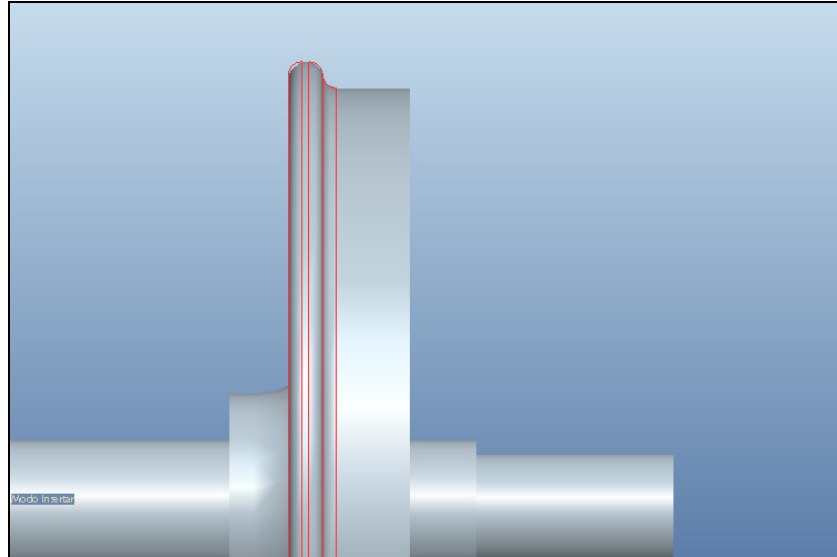


**Figura 4.142 Resultado diseño exterior rueda.**

Hay que definir una serie de redondeos para asemejar el diseño actual al perfil real de la rueda del plano. Uno por cada transición entre diámetros en la parte exterior de la rueda, tres en total.

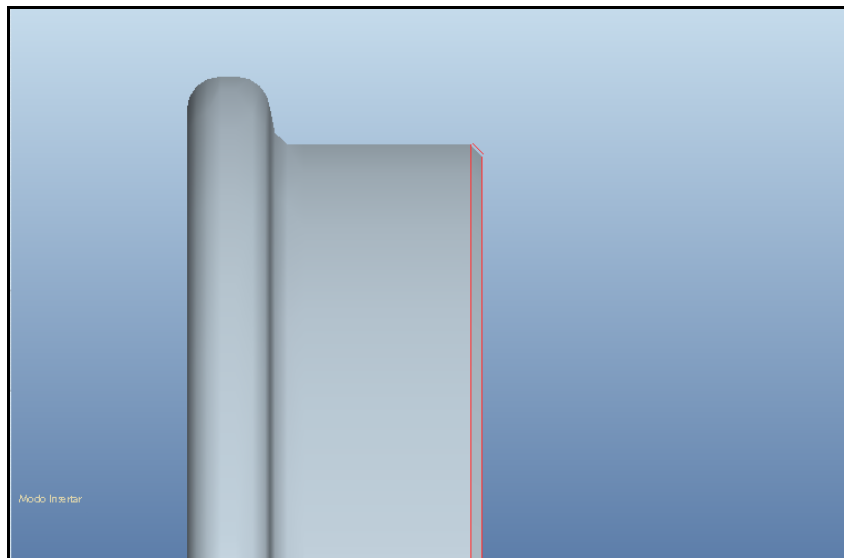


**Figura 4.143 Antes de los tres redondeos.**



**Figura 4.144 Después de los tres redondeos.**

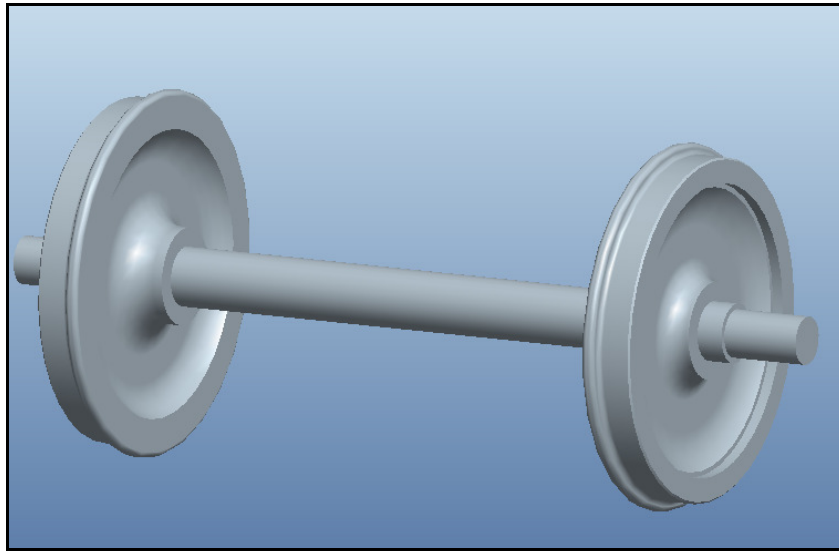
Por último nos quedaría el chaflán de la cara exterior para terminar de reproducir el perfil del plano.



**Figura 4.145 Operación CHAFLANRAIL1.**

Sabemos que la zona de contacto de la rueda entre rueda y raíl no es plana, tiene cierto ángulo para facilitar el guiado y favorecer la estabilidad del bogie, pero utilizaremos la simplificación de ser plana porque para el objetivo de este proyecto es suficiente y podemos definir el comportamiento del contacto entre ambas utilizando las funciones del propio programa en el módulo de mecanismos.

Reproducimos todas las operaciones que hemos realizado para crear una rueda ahora en la otra parte del eje partir de la fase de revolución común de ambas.



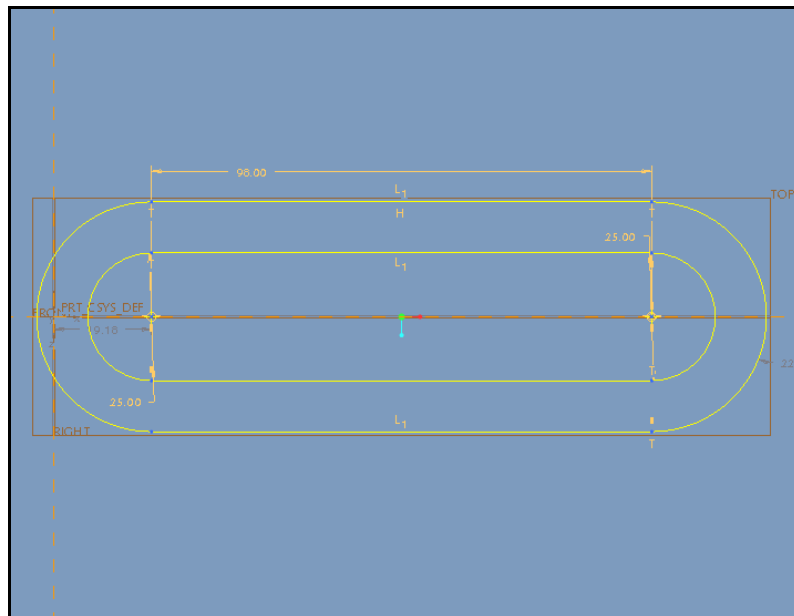
**Figura 4.146 Pieza EJE-RUEDA.**

Queda así finalmente definida la pieza EJE-RUEDA.

#### **4.5 ESLABÓN**

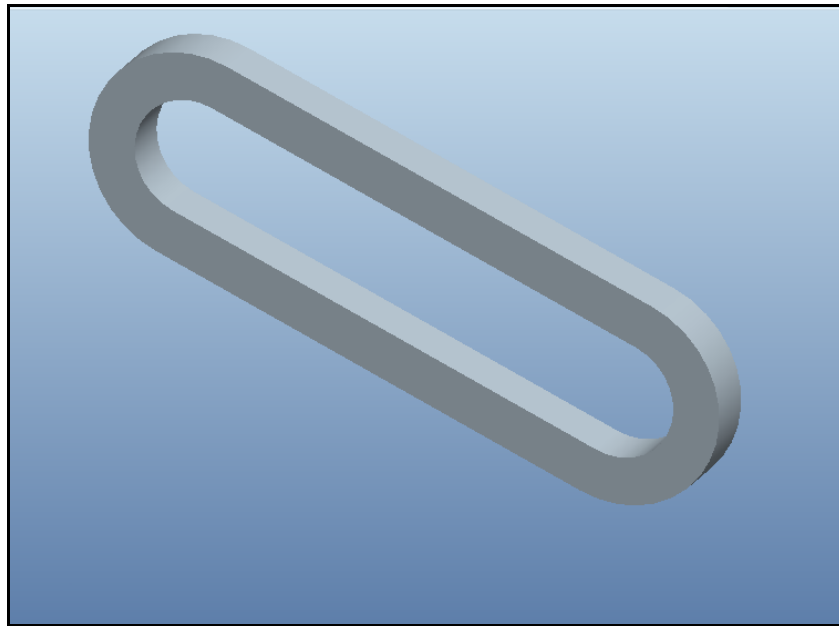
Como queremos realizar el montaje de conjunto necesitamos también crear la pieza de unión entre el TOPE DEL MUELLE y el BASTIDOR. Esta pieza es el ESLABÓN, que transmite la fuerza y sirve de unión entre el conjunto CAJA DE GRASA y el muelle con el BASTIDOR a través del TOPE DEL MUELLE.

El ESLABÓN lo diseñamos con un dibujo y una extrusión. Sus dimensiones son las del plano y se ajustan a las posiciones relativas en reposo entre la CAJA DE GRASA y el BASTIDOR junto con el muelle y el TOPE DEL MUELLE.



**Figura 4.147 Dibujo ESLABÓN.**



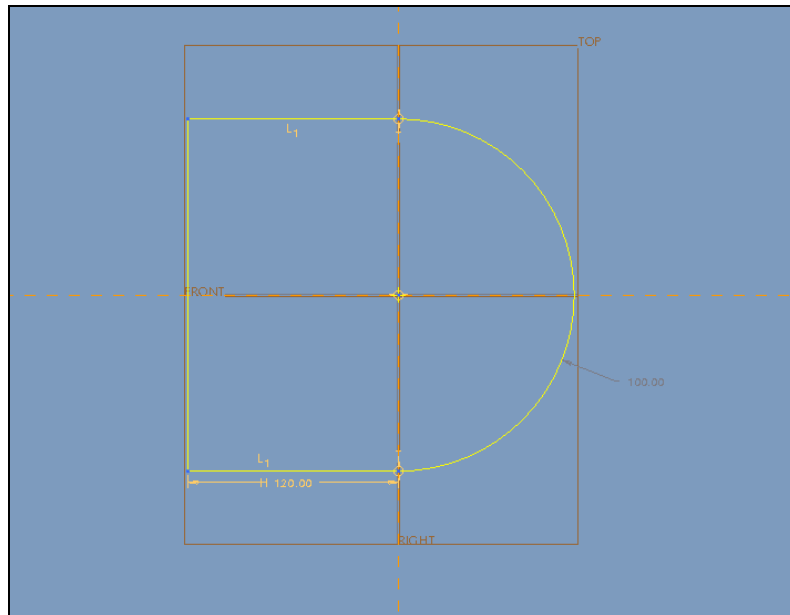


**Figura 4.148 Extrusión ESLABÓN.**

#### **4.6 TOPE DEL MUELLE**

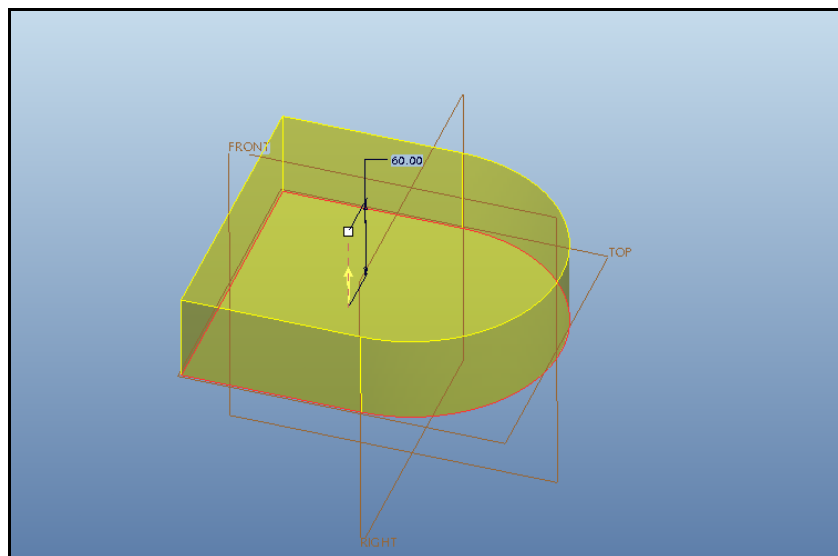
Para que se pueda definir el muelle hay que crear otra pieza que valga de límite del otro extremo del muelle de la CAJA DE GRASA. Esta pieza será el TOPE DEL MUELLE. Es una pieza que albergará el muelle y se unirá al ESLABÓN.

Dibujamos el contorno de la pieza.



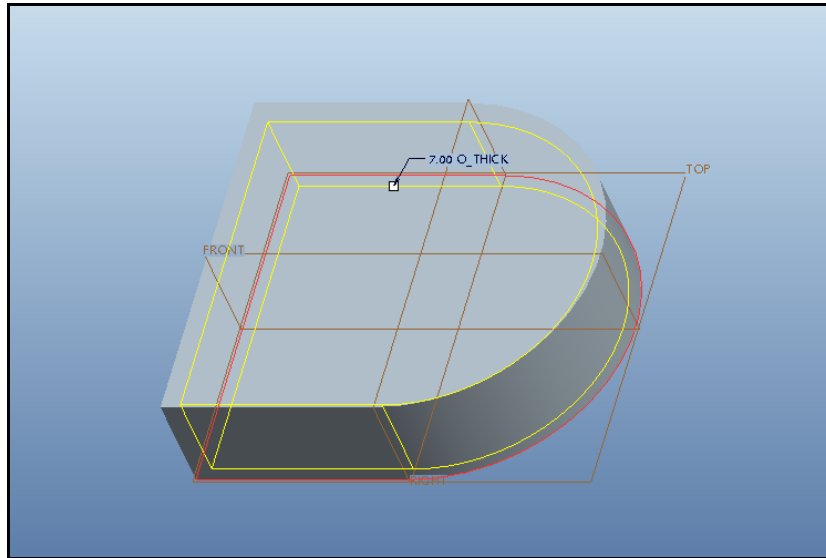
**Figura 4.149 Dibujo TOPE DEL MUELLE.**

Realizamos la extrusión del dibujo.



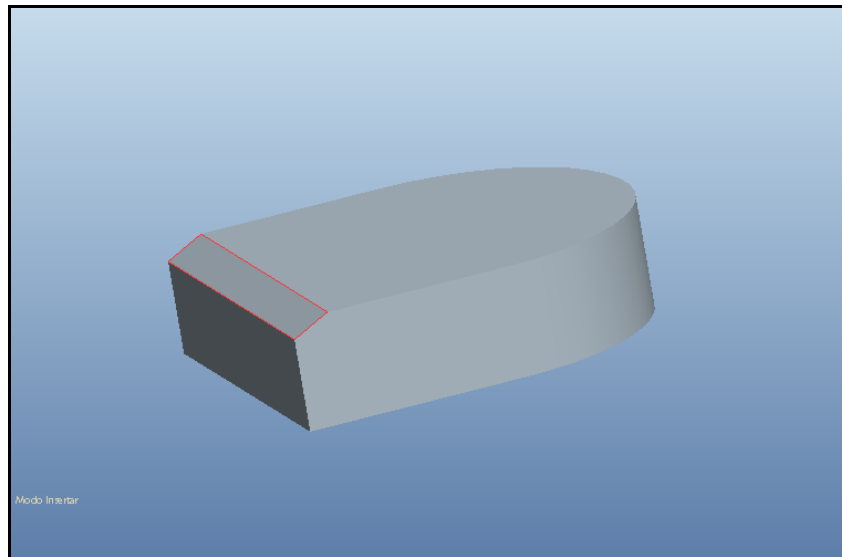
**Figura 4.150 Extrusión TOPE DEL MUELLE.**

Mediante la función de cáscara o vaciado, directamente vaciamos la pieza definiendo una cara y el espesor.



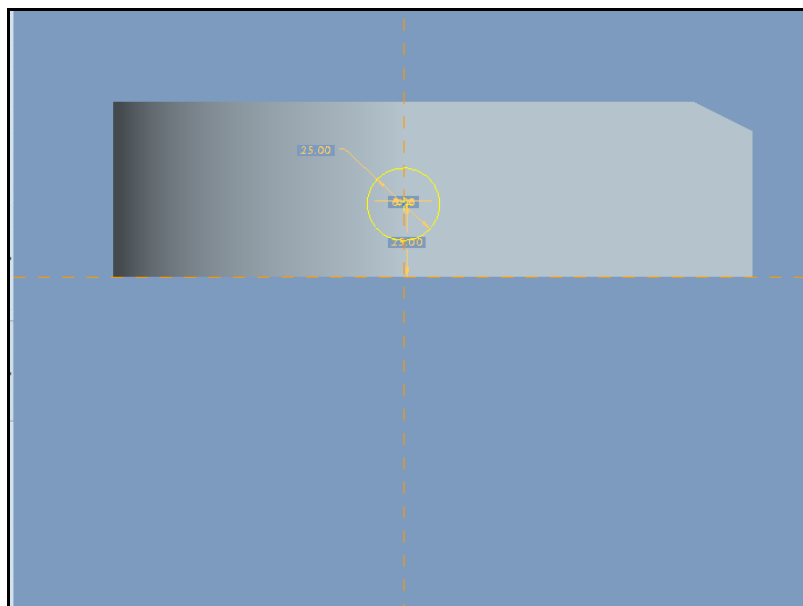
**Figura 4.151 Cáscara TOPE DEL MUELLE.**

Definimos un chaflán en el extremo que encarará el BASTIDOR para salvar la posible interferencia.



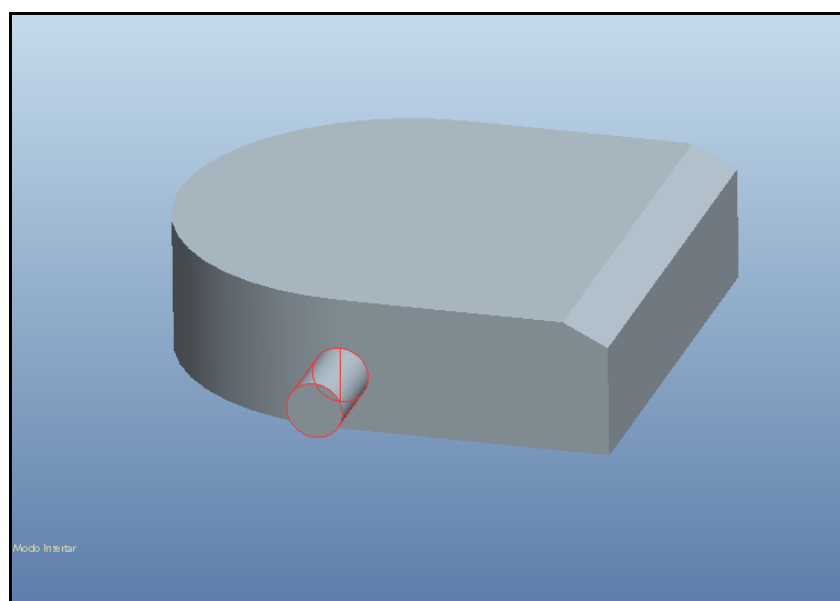
**Figura 4.152 Chaflán TOPE DEL MUELLE.**

Creamos los pivotes correspondientes al enlace con el ESLABÓN similares a los ya existentes en el BASTIDOR mediante dos extrusiones a los laterales del TOPE. Utilizamos el eje de la pieza para que estén en el centro del muelle.



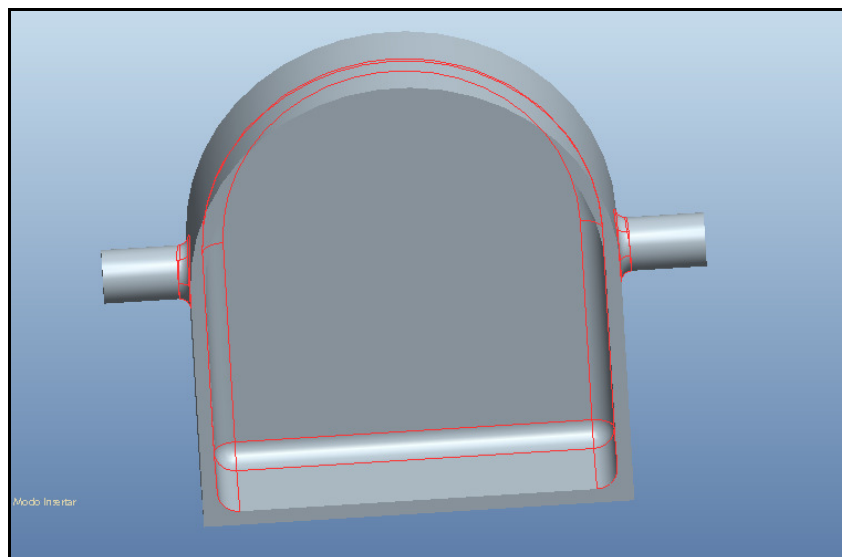
**Figura 4.153 Dibujo Pivote.**

Definimos la extrusión en dicha cara para que quede a ras con el ESLABÓN en el montaje futuro.



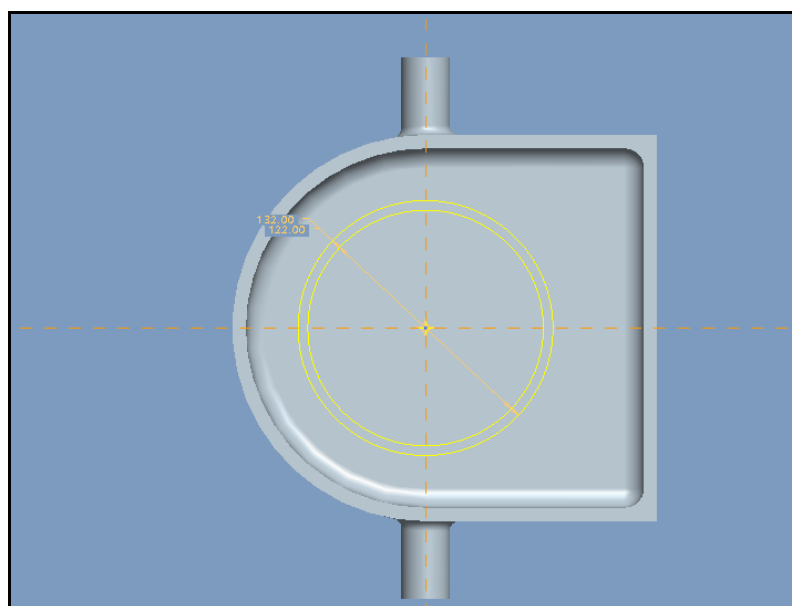
**Figura 4.154 Extrusión Pivote.**

Definimos dos redondeos para suavizar las formas y añadir material a las zonas de transición.



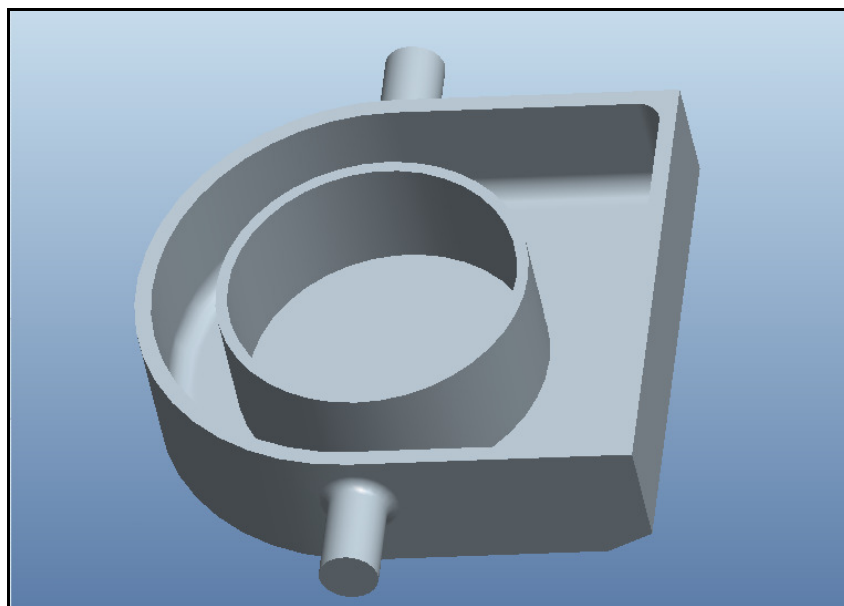
**Figura 4.155 Redondeos.**

Dibujamos el alojamiento del muelle de igual manera que hicimos con la CAJA DE GRASA y que nos servirá para definir el enlace entre ambos a posteriori.



**Figura 4.156 Dibujo alojamiento muelle.**

Creamos la extrusión hasta la altura del borde exterior, quedando la pieza de este modo.



**Figura 4.157 Extrusión alojamiento muelle.**

Con esta pieza terminamos de definir las que serían necesarias para realizar el montaje del Bogie Y21. Hemos creado el BASTIDOR de una sola pieza, el EJE-RUEDA también en sólo una, la CAJA DE GRASA que alberga el eje y las dos piezas que se necesitarían para definir el montaje del conjunto Bogie Y21, el ESLABÓN y el TOPE DEL MUELLE. Lo siguiente será definir las relaciones entre ellas.

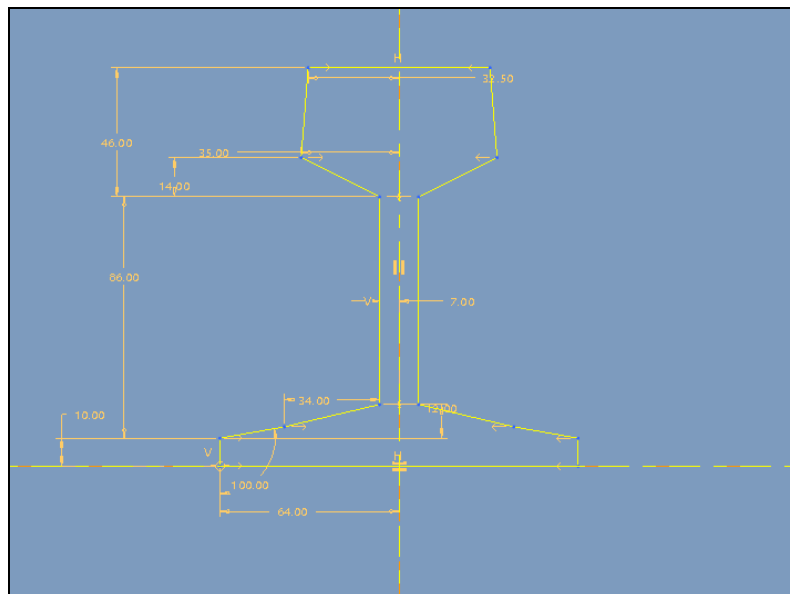
## **5. INTEGRACIÓN EN EL CONJUNTO**

Vamos a definir el conjunto Bogie Y21 como unión de las piezas ya creadas. Para ello habrá que definir los enlaces, posiciones de cada una de las piezas y especificar las características del conjunto.

En nuestro caso como en muchos otros, a la hora de crear un conjunto y definir sus movimientos, hay que definir un suelo o elemento fijo, que aquí serán un par de raíles. Como no los hemos creado en las piezas del bogie, lo tendremos que definir ahora. Este elemento lo utilizaremos para referenciar la posición del BASTIDOR como la primera pieza a partir de la cual definiremos el resto del conjunto.

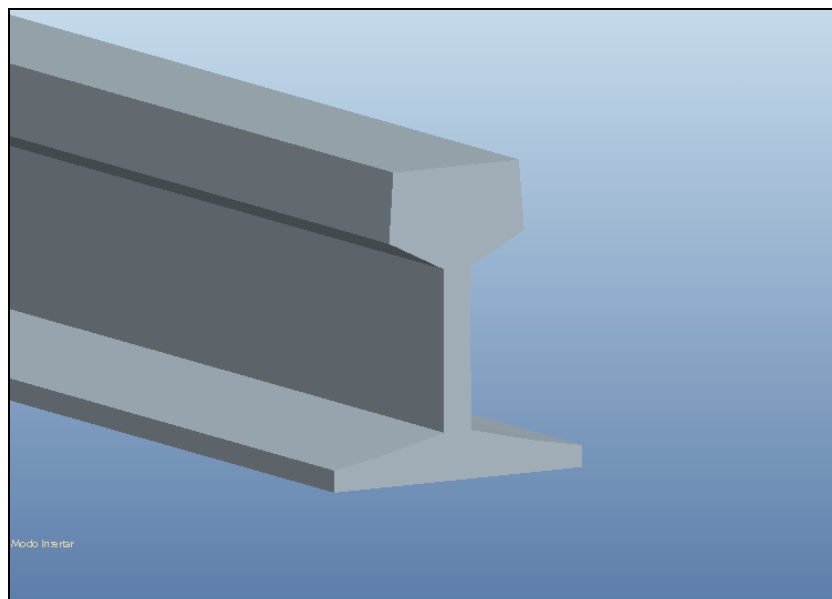
### **5.1 Raíl**

Definiremos un raíl sin entrar en gran nivel de detalle pero que tenga una forma o una estructura muy cercana a la realidad. Dibujamos el perfil del raíl.



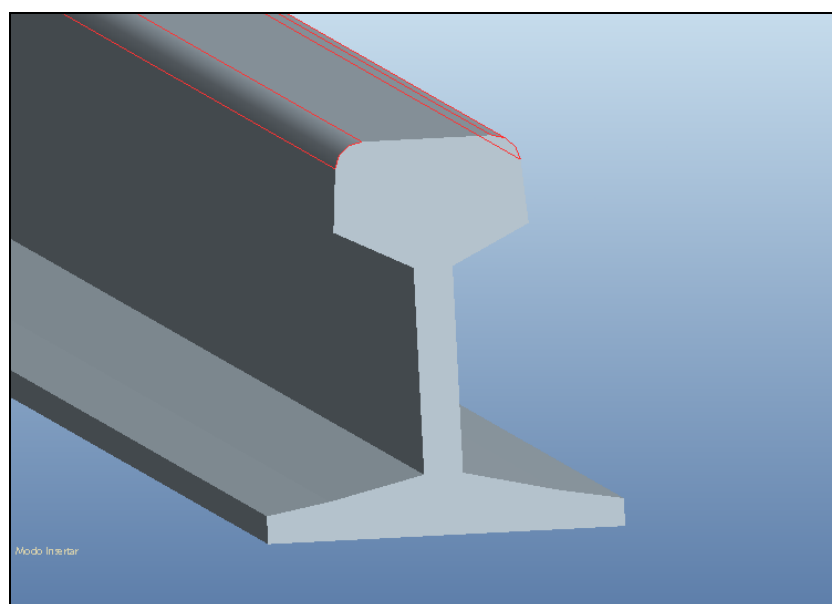
**Figura 5.1 Dibujo del perfil del raíl.**

Realizamos la extrusión del perfil del largo que definamos, por ejemplo 50 metros.



**Figura 5.2 Extrusión del raíl.**

Para asemejarlo más a la realidad y que no haya interferencias en futuro montaje con las ruedas, realizamos dos redondeos en la cabeza del mismo.



**Figura 5.3 Redondeos cabeza raíl.**

Ya tendríamos el elemento raíl que nos servirá como elemento suelo para el montaje del conjunto Bogie Y21.



## **5.2 Conjunto Y21**

Para poder definir un conjunto utilizando el programa CREO, debemos crear un archivo de montaje, en este caso lo llamaremos Y21. Vamos a explicar paso a paso las fases que hay que seguir para llegar a crear un conjunto de piezas y conseguir que interaccionen entre ellas para, en este caso, reproducir el comportamiento de un Bogie Y21.

### 5.2.1 Paso 1-Masa Piezas

Lo primero sería definir el material y dar masa a las piezas creadas. En nuestro caso el plano indica que son chapas, perfiles y piezas de acero. Dentro de las propiedades de cada pieza habrá que elegir *Steel* (acero) como material.

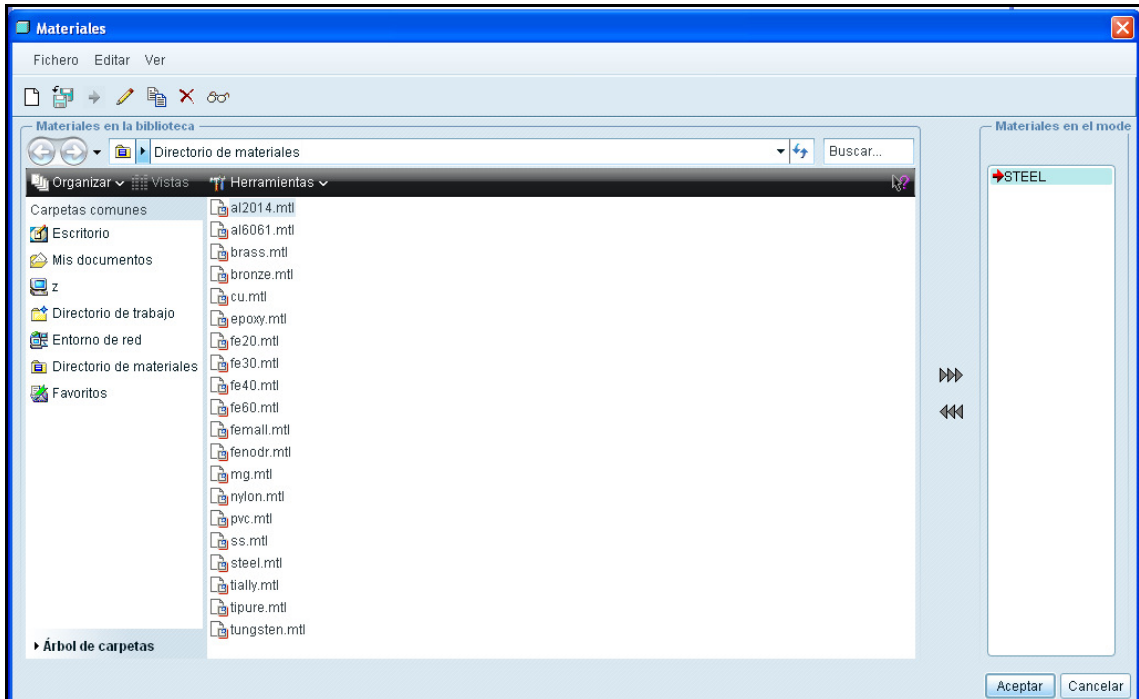


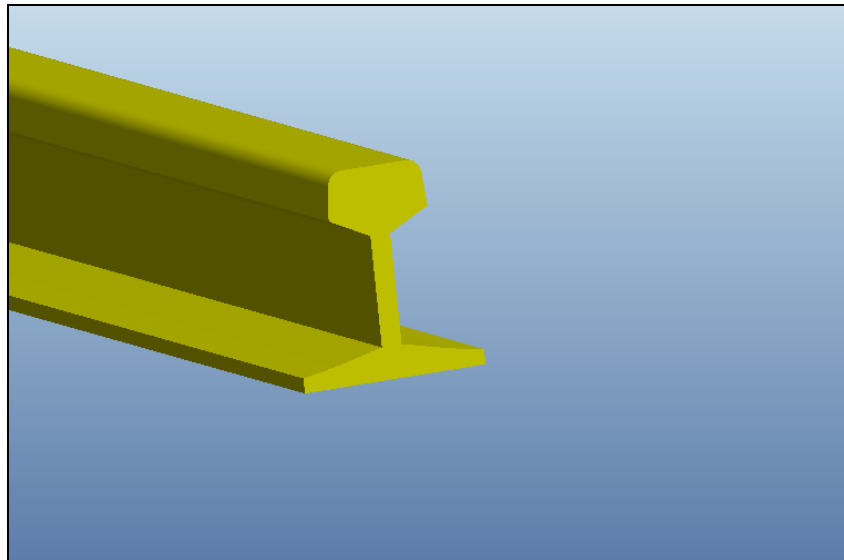
Figura 5.4 Definir masa de las piezas.

En esta misma fase se puede comprobar que las dimensiones de referencia son las deseadas: mm para distancia, Newtons para fuerza y segundos para tiempo. Así como en el apartado de propiedades de masa podemos obtener los valores de masa, volumen, densidad, centro de gravedad e inercia si fuesen necesarios para algún cálculo futuro o comprobación.

### **5.2.2 Paso 2-Montaje**

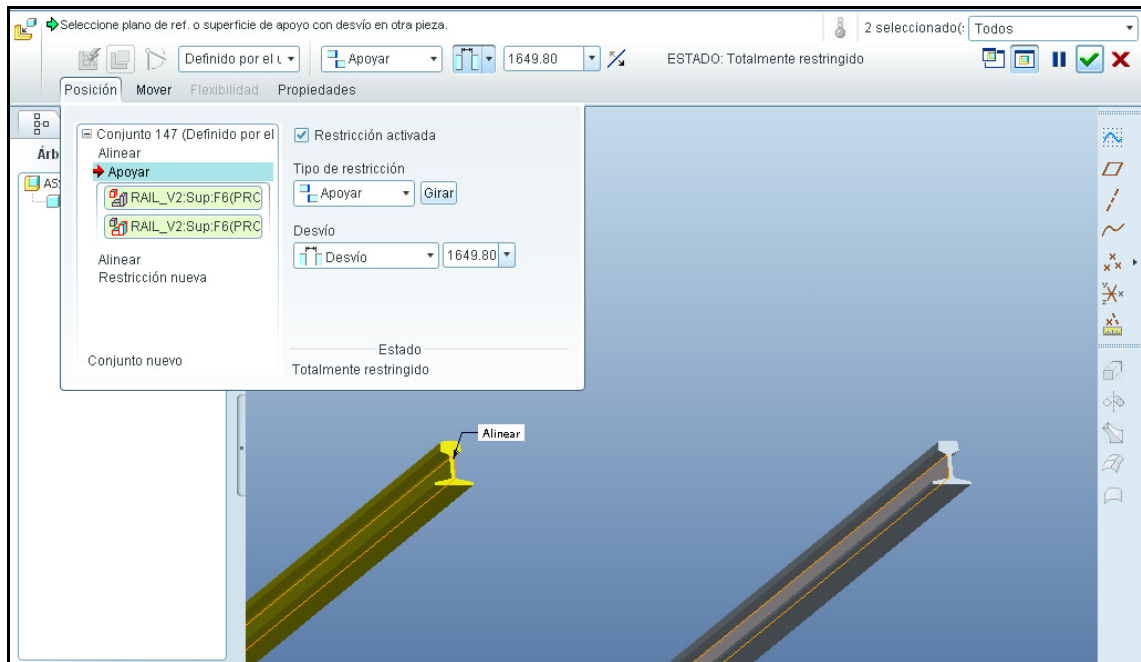
Empezaremos a añadir en orden las piezas del conjunto dependiendo de su relación: el tipo de enlaces y restricciones entre ellas. Mediante la definición de los enlaces determinaremos la función de los futuros elementos de unión entre ellas como muelles, amortiguadores y motores. En este paso determinaremos los valores de posición relativa entre la pieza añadida y la anterior, posición inicial y posición límite.

Los primeros serán los raíles, el primero de los cuales se definirá como elemento fijo inamovible. Lo posicionamos mediante las funciones “definido por el usuario” y “por defecto”.



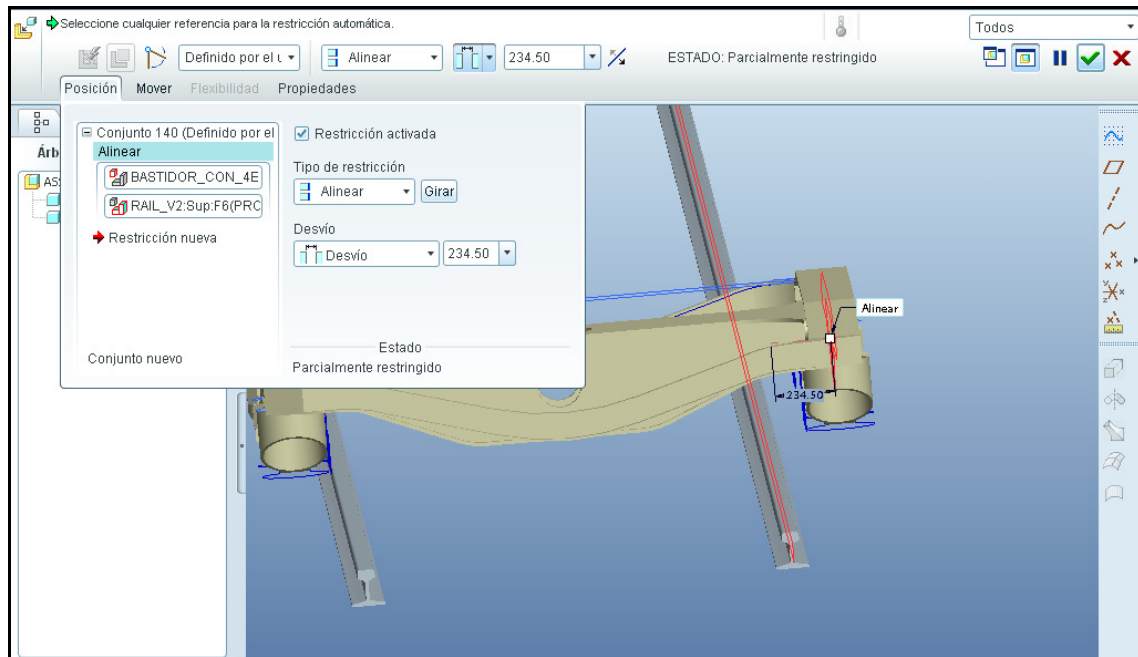
**Figura 5.5 Primer raíl fijo.**

El segundo raíl se posicionará con dos funciones de alinear las caras inferior y frontal y una de apoyar las caras laterales definiendo en esta la separación entre raíles de 1649,8mm. Definida por la distancia entre ruedas de la pieza EJE-RUEDA.



**Figura 5.6 Posición del segundo raíl.**

La siguiente pieza a añadir será el BASTIDOR, también con la función “definido por el usuario” y alinearemos la cara del lateral del BASTIDOR con el lateral del RAIL. Esto permitirá los movimientos verticales y de cabeceo pero no los laterales. Es una simplificación aceptable en nuestro caso, ya que el bogie no circulará por curva. Si fuese necesario se podría modificar esta restricción en función de las necesidades de simulación. Lo alineamos al raíl con una desviación de 234,5mm dada por la posición futura del BASTIDOR respecto al EJE-RUEDA y la CAJA DE GRASA.

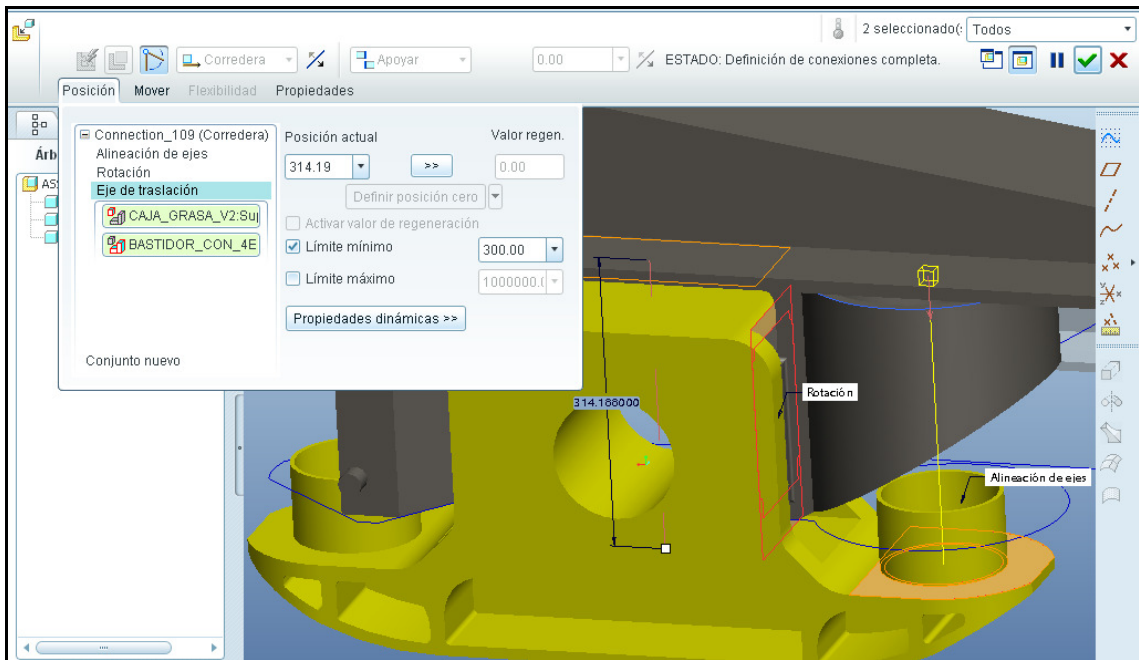


**Figura 5.7 Posición del bogie.**

El siguiente elemento será la CAJA DE GRASA. Para estas piezas definiremos las restricciones utilizando las predeterminadas en el programa. Utilizando estas predefinidas haremos que sea más fácil su “comprensión” por parte del CREO y nos facilita la definición futura de los elementos de unión (muelles, amortiguadores, etc.) y definición de los parámetros de funcionamiento del enlace (límites de carrera, fricciones, etc.).

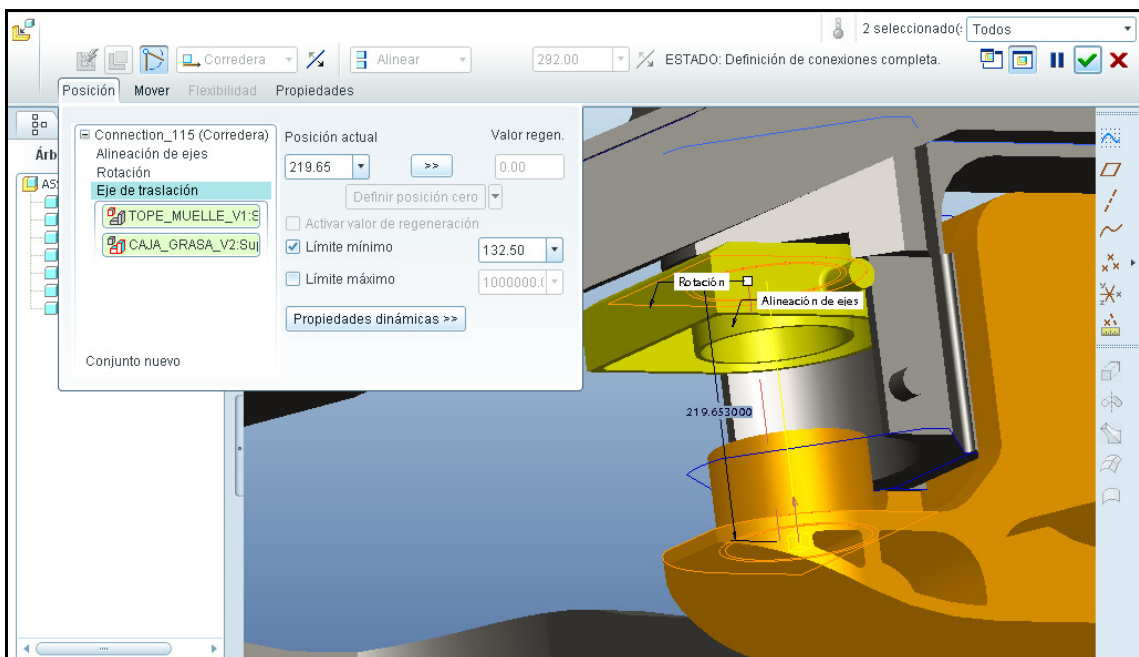
Para este enlace utilizaremos la restricción de “corredera”, donde se definirá un eje de traslación en ambas piezas que se usará para los futuros muelles y unas caras de rotación para alinear y definir la posición, que serán las laterales de ambas piezas, ya que coinciden porque se diseñaron las dos respecto al centro del eje de giro de la rueda y coinciden con los planos de referencia que se usaron en ambas piezas.

Hay que definir una posición mínima para que la CAJA DE GRASA no llegue nunca a solaparse con el BASTIDOR, simular el tope físico que haría la cara superior de la CAJA con el propio BASTIDOR. Eso nos da 300mm de límite entre las caras de apoyo del futuro muelle y el BASTIDOR. Hacemos lo propio con las tres CAJAS DE GRASA que tiene el bogie repitiendo la operación al añadir las piezas al conjunto.



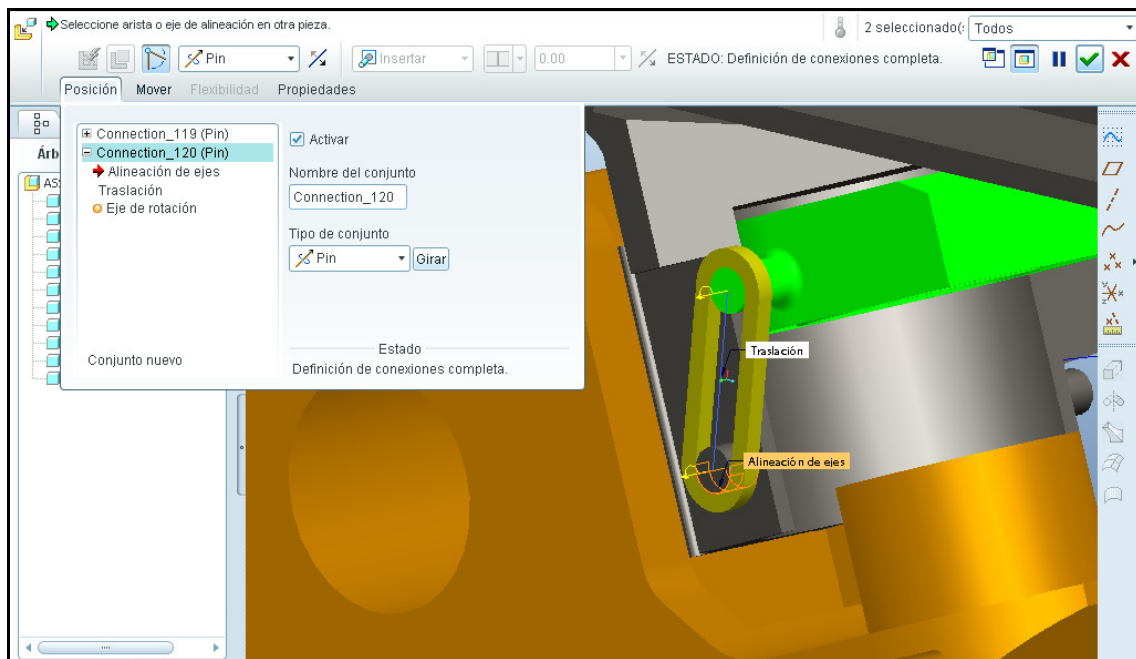
**Figura 5.8 Posición de la CAJA DE GRASA.**

Añadimos la pieza TOPE DEL MUELLE con el mismo tipo de restricción “corredera”, definiendo la alineación de ejes para después crear el muelle y las caras de rotación para poder determinar la posición de la pieza. Como límite físico definiremos una posición mínima de 132,50mm en la que ya tocaría el TOPE con la CAJA DE GRASA. El tope máximo no hay que definirlo porque estará restringido por el ESLABÓN. Repetimos esta definición de montaje para los otros tres TOPES.



**Figura 5.9 Posición del TOPE DEL MUELLE.**

Añadimos a continuación la pieza ESLABÓN que nos une el TOPE DEL MUELLE con el BASTIDOR y que hace que cerremos el círculo de la transmisión del movimiento de la CAJA DE GRASA con el BASTIDOR. Usaremos la unión predefinida de “pin”, donde definimos dos ejes que serán coincidentes uno en cada pieza y las dos caras que fijarán la posición de traslación para cada extremo del ESLABÓN. Es decir, usaremos dos enlaces “pin” para determinar el movimiento de la pieza. Hay que repetir esta operación para los ocho ELABONES que hay que definir en total, dos por TOPE DEL MUELLE.



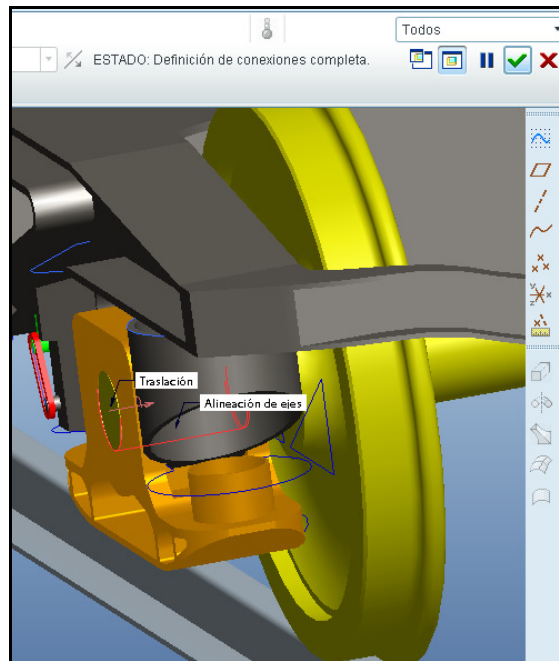
**Figura 5.10 Posición del ESLABÓN.**

Ya sólo queda añadir el elemento EJE-RUEDA al conjunto. También utilizaremos la definición de “pin”, pero aquí activaremos las propiedades dinámicas del enlace. Usamos los ejes de la CAJA DE GRASA y del EJE-RUEDA para alinear las piezas y las caras exteriores de ambas para definir la posición de traslación.

Como explicamos en el capítulo 2, la caja de grasa presenta en su interior unos cojinetes que están en contacto con el eje para facilitar la rodadura. Tendremos que asignar unos valores a los parámetros de fricción que simulen la acción y el comportamiento de estos elementos de unión. En la sección “propiedades mecánicas” activaremos la fricción entre superficies y daremos unos valores de 0,01 para la fricción estática, de 0,004 para la dinámica obtenidos de las tablas y un radio de contacto de 1,5. Repetimos esta operación para cada uno de los cuatro enlaces entre la CAJA DE GRASA y el EJE-RUEDA.

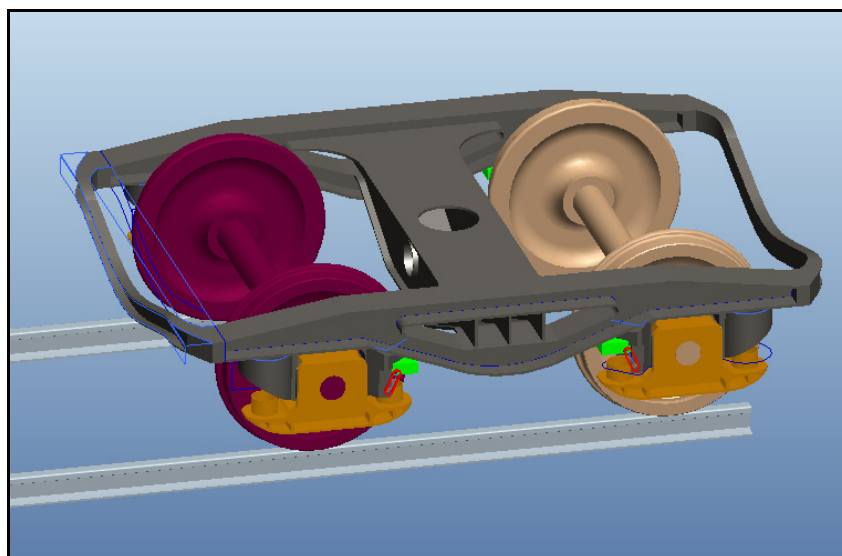
Coefficientes fricción cojinetes lubricados	$\mu_s$	$\mu_k$
Eje-caja de grasa	0.01	0.004

**Tabla 5.1 Valores de coeficientes de rozamiento eje-caja de grasa.**



**Figura 5.11 Posición del EJE-RUEDA.**

Para poder distinguir e identificar las piezas se les ha asignado un color, algo sencillo y muy útil para poder conocer su posición en el conjunto y poder distinguirlas.



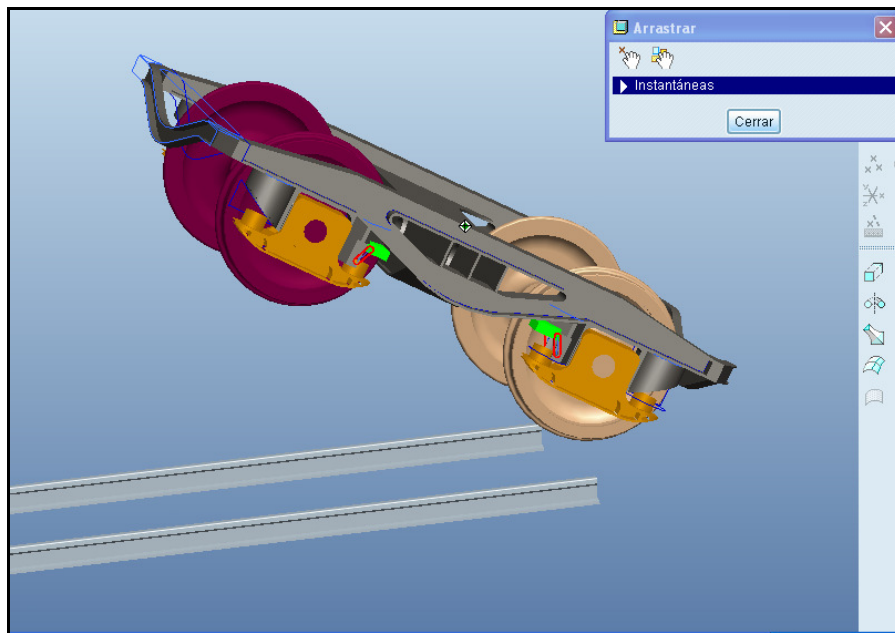
**Figura 5.12 Conjunto Y21.**



Si la intención es simular el comportamiento del conjunto Bogie Y21 en un raíl aunque no haya movimiento de traslación, nos faltaría añadir la unión de la RUEDA-EJE con el RAIL, los muelles y la amortiguación. Todo esto se puede hacer con el programa CREO pero en un módulo distinto al actual, en el módulo de “Mechanism”. El actual es el llamado “Estándar” donde podemos definir las uniones entre las piezas como ya hemos hecho.

### **5.2.3 Paso 3-Comprobar movimiento**

Antes de pasar al módulo “Mechanism” hay que comprobar que el programa ha “entendido” las uniones, es decir, que se comportan como queremos, que están bien definidas para que el programa reproduzca correctamente lo que hemos definido. Para ello lo que hacemos es mover una pieza del conjunto, en nuestro caso el BASTIDOR, que es el que hace de enlace entre el resto de elementos y comprobar el movimiento con las restricciones y límites.

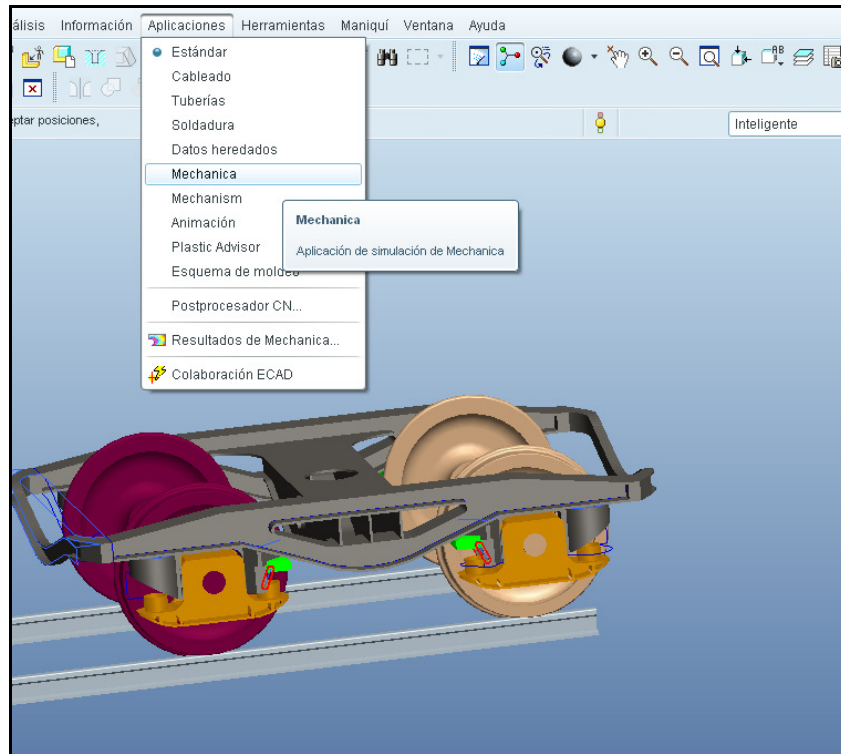


**Figura 5.13 Mover conjunto Y21.**

Movemos el conjunto y el programa reproduce dicho movimiento. No da ningún mensaje de fallo.

#### **5.2.4 Paso 4-Comprobar conexiones**

Activamos ahora el módulo de “Mechanism” dentro del programa CREO para utilizar las funciones que nos ofrece, entre ellas la de definición de los mecanismos de unión y movimiento y, si fuese necesario, su análisis posterior.



**Figura 5.14 Módulo de “Mechanism”.**

Empezamos comprobando de nuevo dentro del módulo que las conexiones que hemos definido en el estándar las ha “entendido”, las ha importado. Esto se hace mediante la función de *Reconectar* y dentro de esta seleccionamos *Ejecutar* el análisis del conjunto.

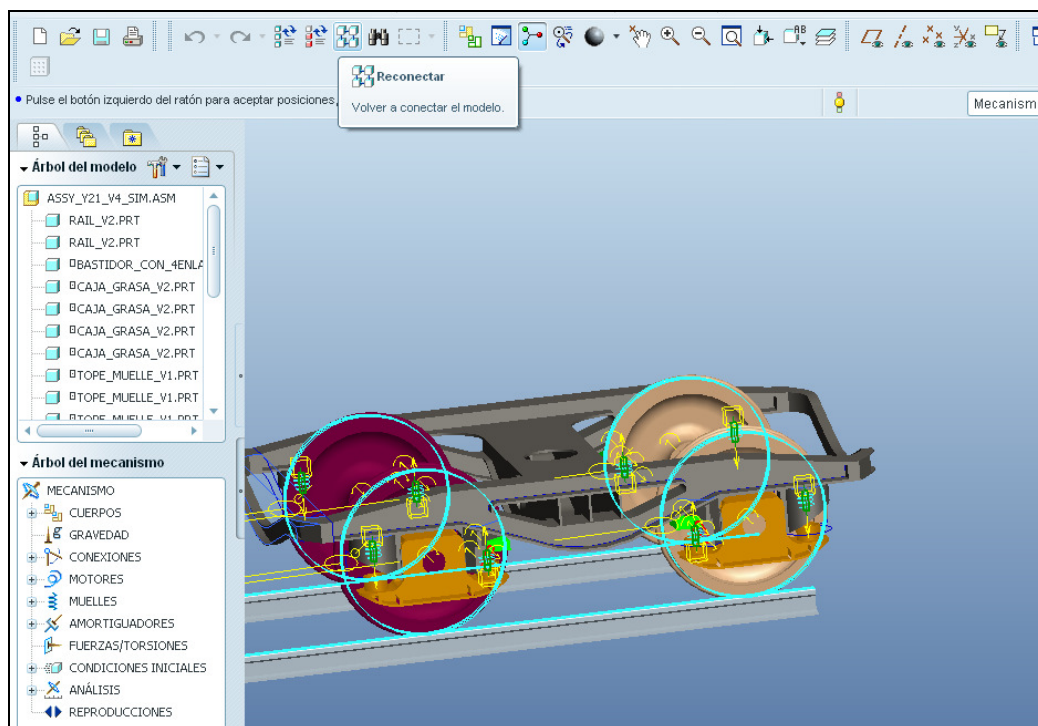


Figura 5.15 Reconectar.

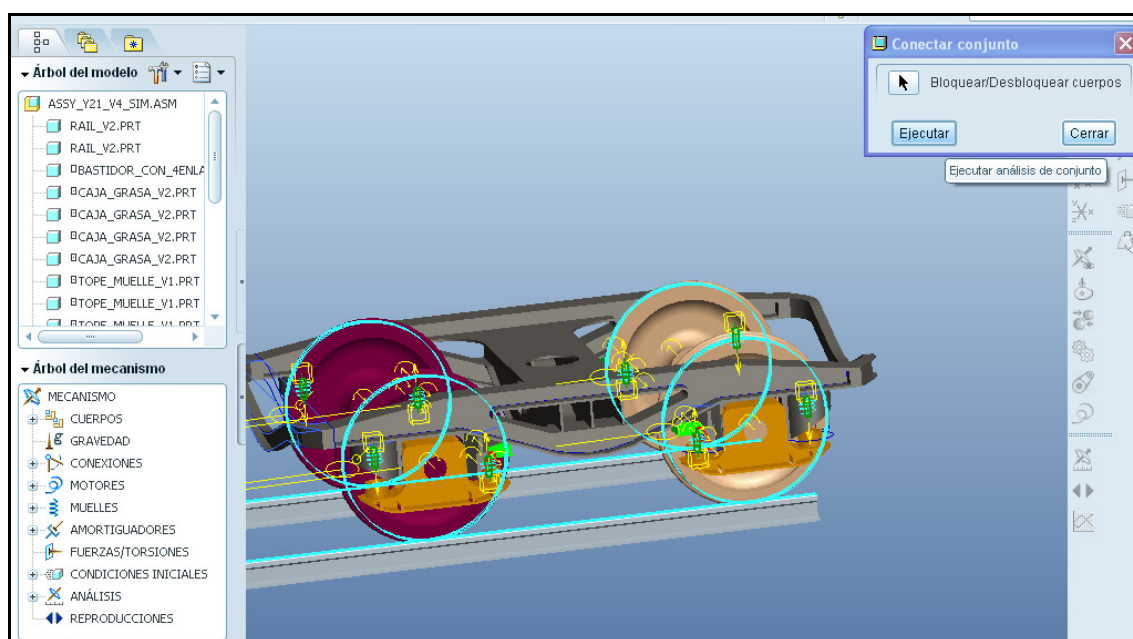
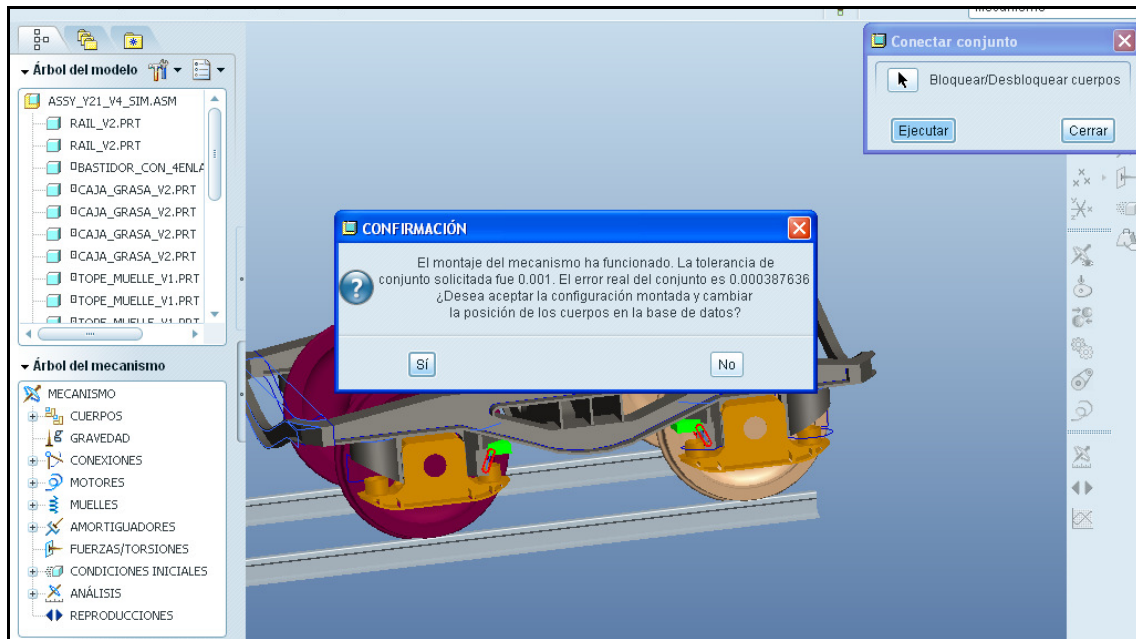


Figura 5.16 Ejecutar.



**Figura 5.17 Resultado Reconectar.**

El programa nos confirma que las conexiones están bien definidas, las que hemos creado pensando en reproducir el comportamiento real y que entiende las restricciones del mecanismo.

### 5.2.5 Paso 5-Levas

Como habíamos indicado al final del paso 2, tras haber añadido todas las piezas al conjunto, nos faltaría la unión entre la pieza RUEDA-EJE y el RAIL. Este tipo de unión será simulado por la conexión de leva que nos ofrece el CREO. Este tipo de conexión se ajusta muy bien a lo que buscamos ya que estarán unidos mediante una superficie de contacto pero con posibilidad de movimiento relativo, la rueda podrá girar y desplazarse e incluso si es requerido se podría despegar el EJE-RUEDA del RAIL pero seguirá la trayectoria definida por las superficies de contacto entre ellas.

Para definir un enlace leva nos vamos al apartado *Conexiones* del árbol del mecanismo y dentro de *Uniones*, elegimos *Levas*. Hay que definir dos superficies que serán leva 1 y leva 2. Como leva 1 elegimos la superficie de rodadura del EJE-RUEDA, y como leva 2 elegimos la superficie superior del RAIL, determinando los límites laterales de esta superficie: el borde interior del raíl del lado de la rueda y el exterior.

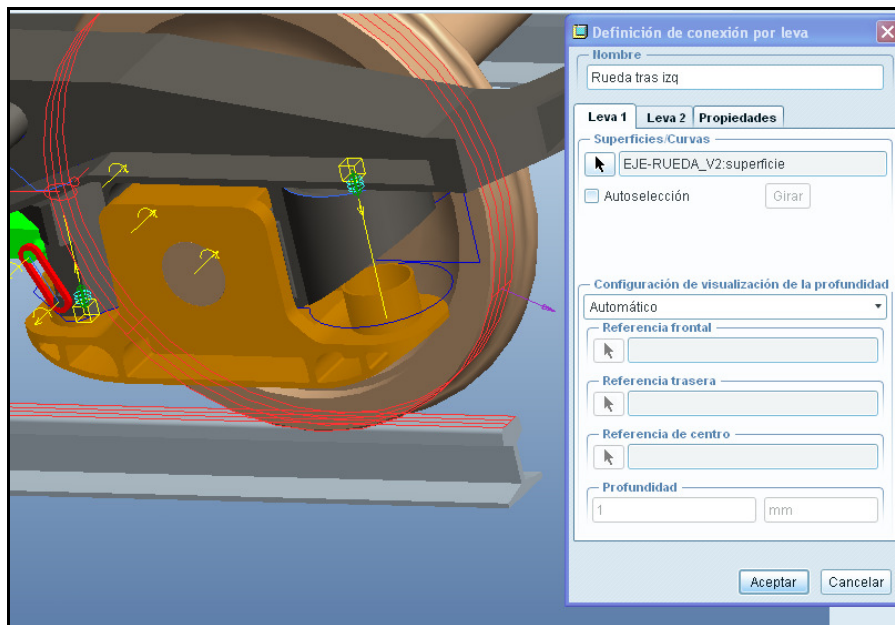


Figura 5.18 Conexión Leva.

En las propiedades de *Leva* activamos las opciones de despegue, para que se pueda desconectar una de otra pero con coeficiente de restitución 0 (que no rebote) y en la opción de fricción introducimos los valores para rueda y raíl de acero, el estático de 0,12 y, el dinámico, de 0,08. Existen estudios muy completos sobre como determinar estos valores de fricción a partir de las condiciones en el propio contacto. Hemos utilizado los valores que se ajustan a nuestras condiciones de simulación.

<b>Coefficientes fijos fricción seca</b>	<b><math>\mu_s</math></b>	<b><math>\mu_k</math></b>
Rueda - Raíl	0.12	0.08

**Tabla 5.2 Valores de coeficientes de rozamiento rueda-raíl.**

### **5.2.6 Paso 6-Muelles**

En este paso crearemos los mulles como elementos necesarios para simular el comportamiento del movimiento del bogie. Según el plano de conjunto son dos por cada rueda y están situados entre la CAJA DE GRASA y el BASTIDOR y el TOPE DEL MUELLE y la CAJA DE GRASA. Para crearlos nos valdremos de las formas preexistentes en cada pieza diseñadas expresamente para poder añadir estos elementos y usando los enlaces entre ellos que también fueron definidos para ser utilizados a posteriori en este punto.

Para definir un muelle en el CREO a parte de indicar el eje y el tipo de muelle, torsión o compresión, hay que introducir el valor de rigidez y su longitud libre. Para definir estos valores hacemos un primer cálculo estimado con la masa del BASTIDOR con la condición de que se compriman 4mm con su propia masa. Haciendo un cálculo con la fórmula  $F = K(x)$  de la fuerza de un muelle, nos da una  $K = 357.860 \text{ N/m}$ . Para el cálculo de la longitud libre utilizamos la distancia entre la CAJA DE GRASA y el BASTIDOR si estuviesen “a bloque” más la distancia entre ellos en el plano más 4mm de compresión. En función de las condiciones de carga o del objetivo de la simulación se puede introducir cualquier otro valor de la rigidez del muelle.

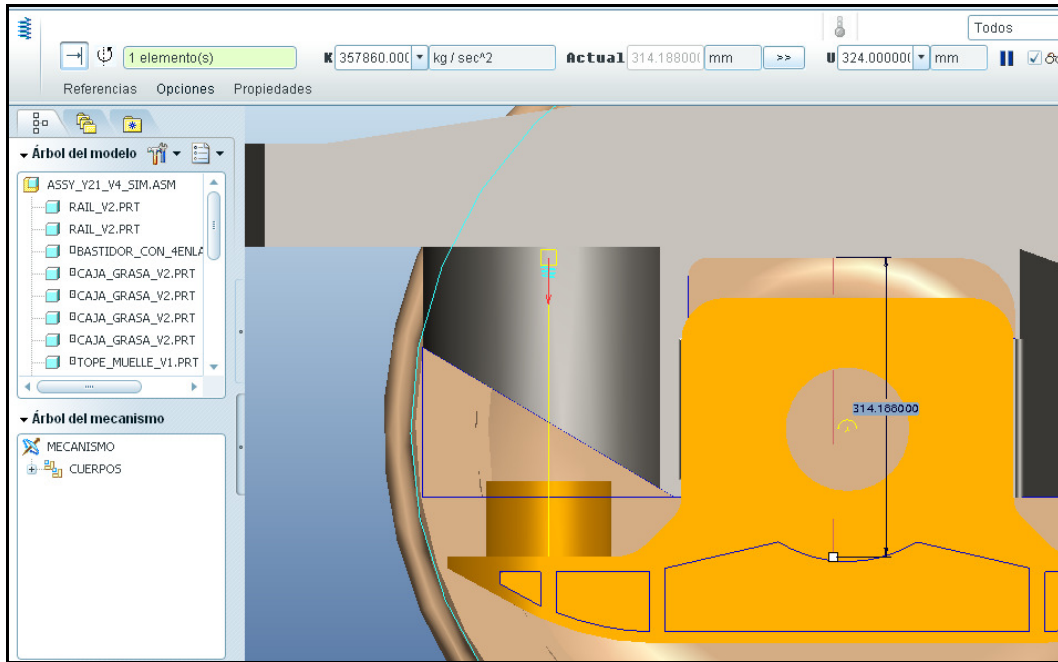
Como vamos a definir dos muelles, vamos a nombrar al muelle más largo en longitud como “Muelle Grande” y al menor como “Muelle Pequeño”. Las longitudes libre para cada uno serían:

$$\text{-Muelle Grande: Longitud libre } U = 300 + 20 + 4 = 324 \text{ mm}$$

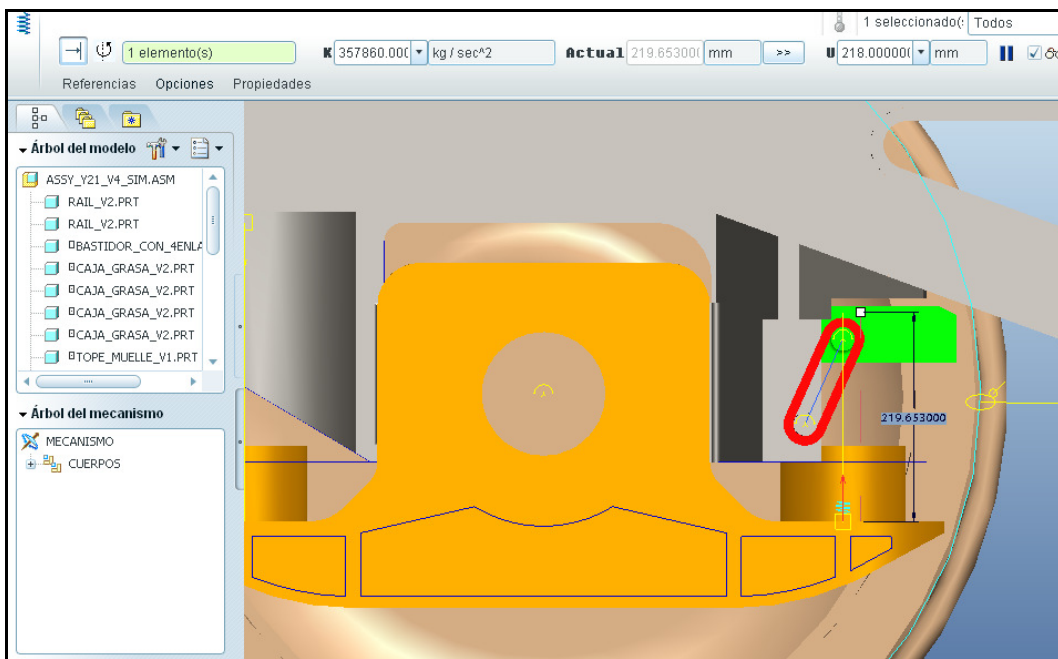
$$\text{-Muelle Pequeño: longitud libre } U = 194 + 20 + 4 = 218 \text{ mm}$$

La diferencia de longitud entre ambos muelles será de 106mm, que es la diferencia de alturas entre los muelles a bloque. Para definir un muelle nos vamos al apartado *Muelles* del árbol del mecanismo.





**Figura 5.19 Definición de Muelle Grande.**



**Figura 5.20 Definición de Muelle Pequeño.**

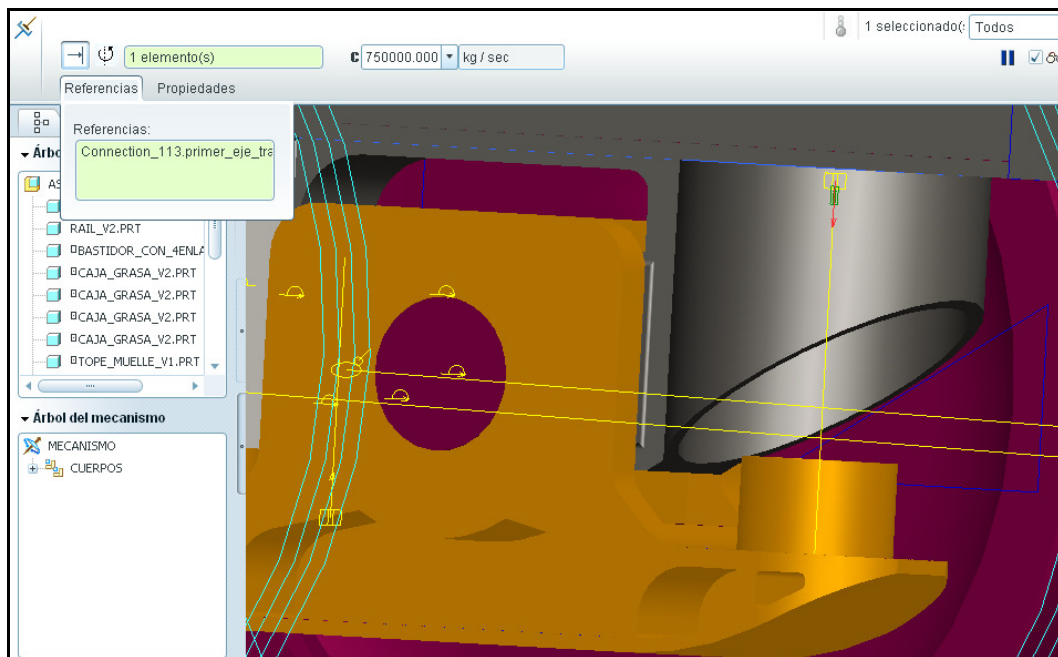
Seleccionamos los ejes de los enlaces de corredera entre la CAJA DE GRASA y el BASTIDOR y el TOPE DEL MUELE y la CAJA DE GRASA e introducimos el valor de la rigidez y las longitudes libre de cada uno respectivamente.

### 5.2.7 Paso 7-Amortiguadores

Como explicamos al principio del proyecto en el capítulo 2, el sistema de amortiguación del bogie es de tipo fricción, Lenoir. Para poder simular esta amortiguación utilizando el programa CREO hay que definir un coeficiente de amortiguación,  $c$  de la fórmula de la fuerza de amortiguación:

$$F = c (v)$$

Donde  $v$  es la velocidad relativa del movimiento de amortiguación del sistema. Para ello vamos a utilizar las constantes de amortiguación que resultan del estudio *Simulation of a freight bogie with friction dampers* de Bosso N., Gugliotta A. y Somà A. ya que nos sirve como aproximación válida al comportamiento de la amortiguación por fricción de un bogie. Creamos un amortiguador por cada muelle, ocho en total.



**Figura 5.21 Definición de amortiguador.**

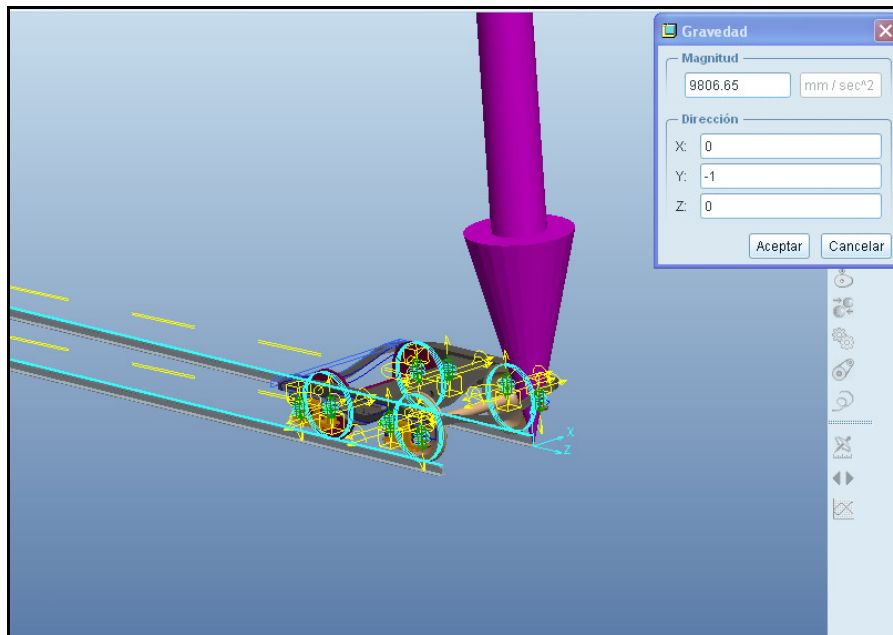
Seleccionamos los ejes de los enlaces de corredera entre la CAJA DE GRASA y el BASTIDOR y el TOPE DEL MUELE y la CAJA DE GRASA e introducimos el valor del coeficiente de amortiguación  $c = 750.000 \text{ kg/seg} \Leftrightarrow [\text{Nseg/m}]$  que hemos obtenido de las tablas para la amortiguación de un bogie sin carga.

Table 4.4 -Effect of the friction coefficient – Tare						
Friction Coefficient	0.4	0.3	0.1	0.05	0	Linear
$\chi$	Critical speed [m/s]					25
3500000	65	59	37	32	24	
750000	58	49	35	31	24	

Tabla 5.3 Valores del coeficiente de amortiguación  $\chi$ .

### **5.2.8 Paso 8-Gravedad**

Necesitamos definir la fuerza de la Gravedad para poder simular el comportamiento en condiciones reales y comprobar que nuestro sistema funciona tal y como está definido, que los enlaces, las conexiones y los elementos se comportan como los hemos creado. Para ello, en el CREO se puede activar la fuerza de gravedad mediante la definición de su valor y de la dirección y el sentido.

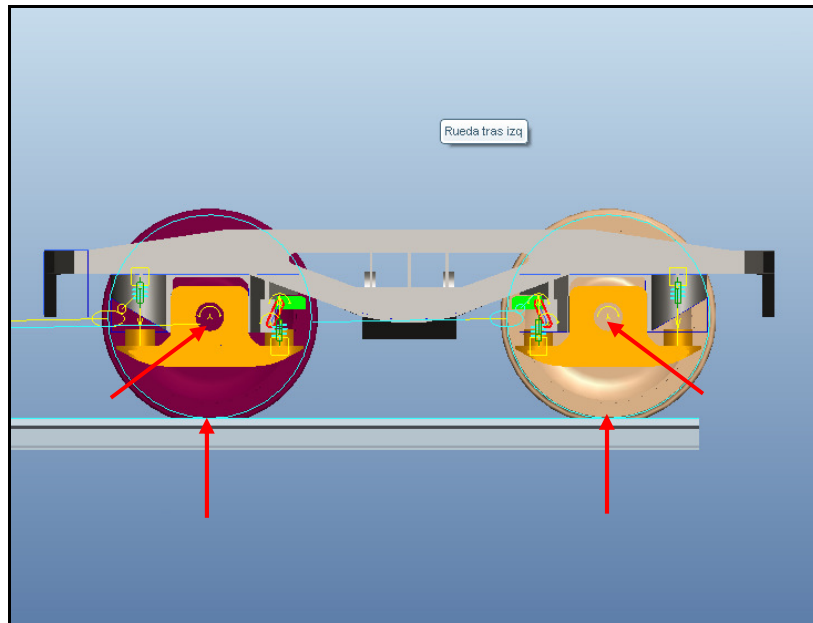


**Figura 5.22 Definición de gravedad.**

Damos un valor de 9806.65 mm/seg<sup>2</sup> y sentido eje Y negativo como se puede observar en el vector gravedad de la figura anterior representado en color morado.

### **5.2.9 Paso 9-Fricción**

Durante el montaje, se han definido una serie de enlaces, en los cuales dentro del apartado de propiedades dinámicas se puede activar o desactivar la fricción para en el posterior análisis del conjunto Bogie Y21 y evaluar su movimiento según las condiciones deseadas. En nuestro caso, estarán activadas las fricciones definidas entre EJE-RUEDA y CAJA DE GRASA, y entre EJE-RUEDA y RAIL.

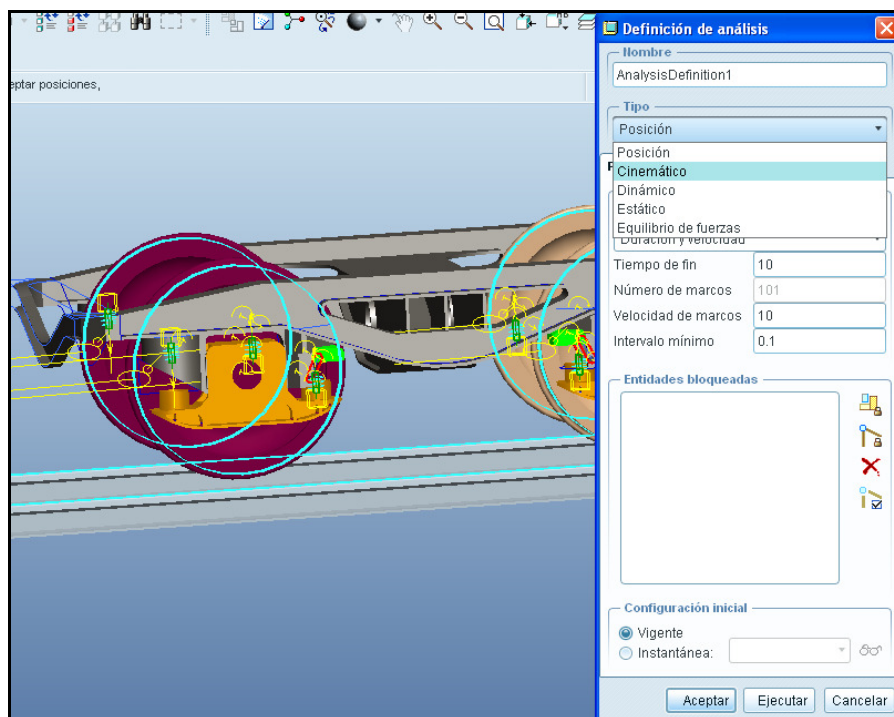


**Figura 5.23 Fricciones activadas.**

## **6. ANÁLISIS DE CONJUNTO**

Hay distintos tipos de análisis en el CREO dentro del módulo de *Mechanism* que nos permite comprobar muchos aspectos de un conjunto: análisis de posición, cinemático, dinámico, estático y equilibrio de fuerzas.

En este caso vamos a crear un análisis dinámico en el que simularemos el comportamiento del bogie bajo el efecto de la gravedad y así evaluaremos si funcionan correctamente todos los enlaces definidos junto con los elementos añadidos: los muelles, los amortiguadores y las levas que hemos creado.

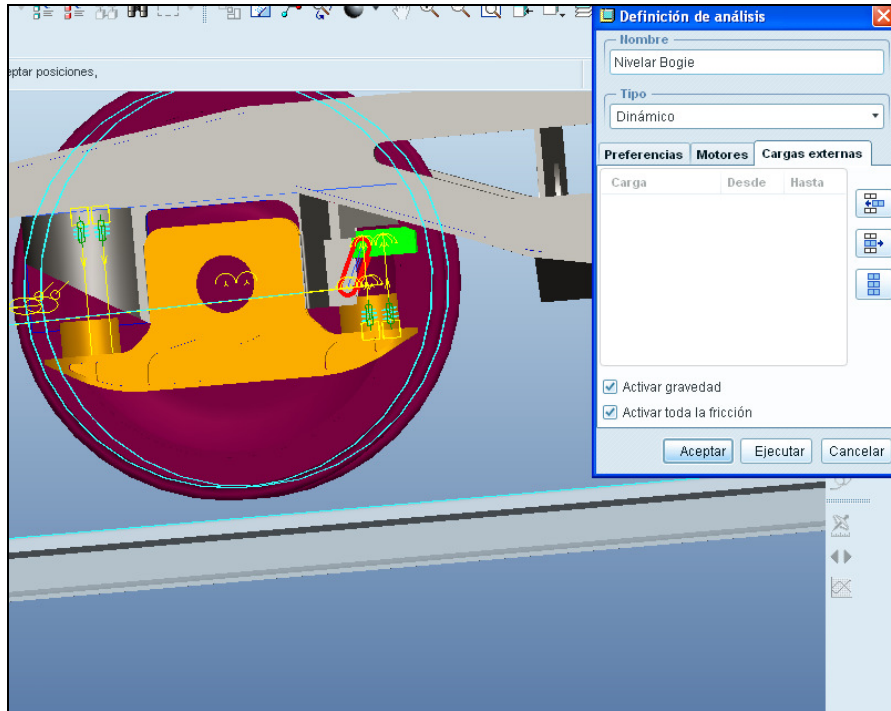


**Figura 6.1 Tipos de análisis.**

Al crear un análisis dinámico debemos elegir qué tipo de parámetros definirán su visualización, en este caso elegimos la duración y la velocidad. Este tipo de definición se crea en función del tiempo que queremos que dure la simulación en segundos y la velocidad de captura de datos. A menos velocidad, el análisis será más rápido porque tendrá menos “fotogramas” o datos.

Si aumentamos la velocidad, el tiempo entre toma de datos de simulación de movimiento será más corto y por tanto tendremos más datos, pero al final la duración, si no la cambiamos, será la misma. La velocidad de marcos para que la secuencia de datos de simulación sea parecida a una secuencia de movimientos en tiempo real sería de 25.

Para hacer el análisis de la acción de la gravedad, en la pestaña de cargas externas tenemos que activar la acción de la gravedad, también activamos la fricción. Hay una pestaña para definir motores, es decir, cargas de todo tipo o movimientos en cualquier elemento para poder estudiar el conjunto con, por ejemplo, los ejes en movimiento o el bastidor desplazándose. En este caso vamos a evaluarlo bajo la acción de la gravedad y no definiremos ningún motor.



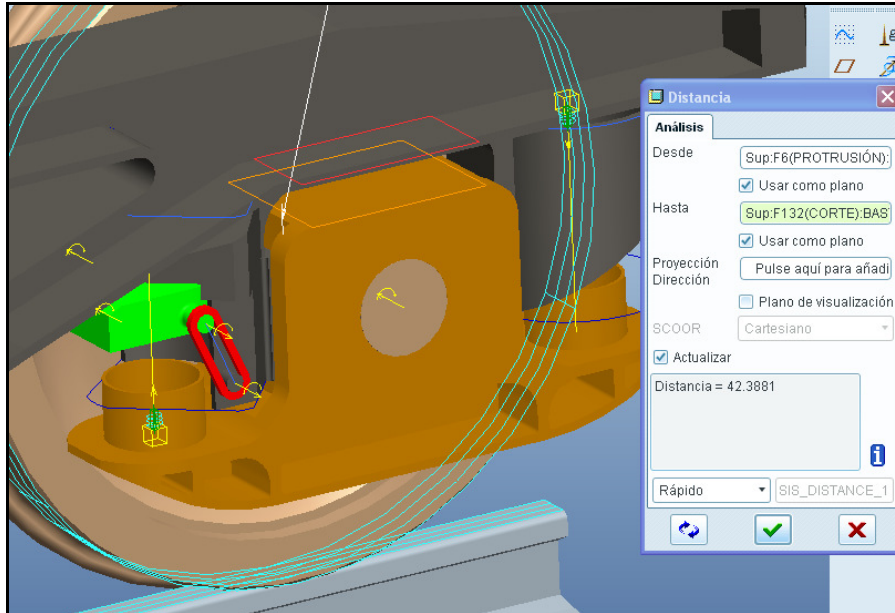
**Figura 6.2 Activación cargas externas.**

Es posible crear unas condiciones iniciales de velocidad y posición de los distintos elementos, pero no será para este caso. Dejamos marcada la opción de posición vigente, ya que previamente hemos separado el BASTIDOR con la función de mover y desplazado así todo el conjunto de los raíles que son el suelo. De esta forma podremos analizar cómo se amortigua su caída y si se queda situado sobre los raíles haciendo estos de soporte como hemos definido.

Ejecutamos el análisis, y el programa simula el movimiento y crea en el apartado Reproducciones una secuencia de imágenes con el nombre del análisis ejecutado.

En la reproducción se puede observar cómo el bogie cae sobre los raíles y los muelles y amortiguadores definidos sostienen el BASTIDOR. Al entrar en contacto las ruedas con los raíles, empiezan a recuperar la posición de reposo subiendo el BASTIDOR y nivelando las cuatro CAJAS DE GRASA con el BASTIDOR. Esto se puede comprobar midiendo la distancia de separación en cada una de ellas con el BASTIDOR antes, durante y después del análisis.

Se aprecia en la reproducción si se observa en detalle la zona de contacto de las ruedas con el raíl, cómo el bogie se desplaza ligeramente sobre los raíles tras haberse apoyado en ellos al final de la simulación. Esto demuestra que la definición de leva es correcta y válida no sólo para simular el apoyo de las ruedas sino también su movimiento sobre el raíl.



**Figura 6.3 Medición distancia CAJA DE GRASA-BASTIDOR.**

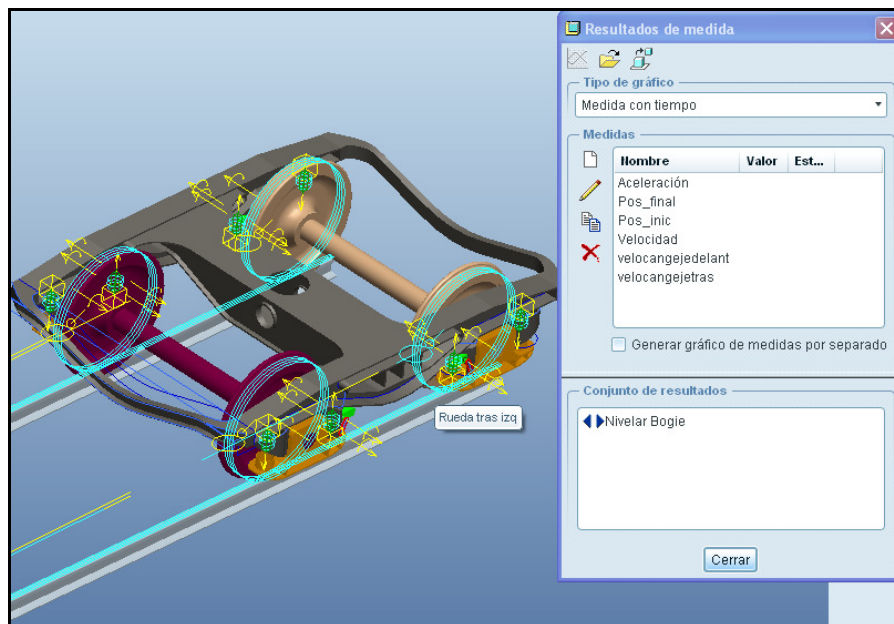
Para comprobar que está en reposo podemos ejecutar el análisis varias veces seguidas, es evidente cómo cada vez tarda menos tiempo en terminar el análisis ya que no hay más movimientos que simular. Como hemos dicho anteriormente, utilizando la herramienta de medir se puede comprobar que las distancias son las mismas para todas las CAJAS DE GRASA.



## **7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

Utilizando el programa CREO se han diseñado, en una primera parte del proyecto, las piezas del bogie modelo Y21. Diseños que si bien no reproducen fielmente las piezas reales, algo imposible con los datos y medios disponibles, sí se consigue el objetivo de simular funcionalmente la estructura y las funciones de las originales.

Una vez creadas dichas piezas se ha pasado, en una segunda parte, a integrarlas en el conjunto del Bogie Y21 con las uniones y elementos de conexión de que disponemos en el programa CREO para poder reproducir un comportamiento real. En una tercera parte hemos analizado el conjunto, lo que nos da como resultado un conjunto estable cuyo comportamiento se corresponde y es coherente con los enlaces y la estructura definida.



**Figura 7.1 Definición de medidas.**

El programa da la posibilidad de definir mediciones, puntos de toma de datos en el modelo para poder registrar una gran variedad de variables que servirían para poder evaluar los resultados de futuros trabajos de simulación en otros módulos: comportamiento deformaciones, térmico, estructural, dinámico avanzado, etc.

Una vez ya creado el conjunto Bogie Y21, este trabajo se podrá utilizar para multitud de trabajos futuros de simulación en módulos más avanzados del programa CREO.

## **8. PRESUPUESTO**

Se adjunta un presupuesto conforme a los trabajos realizados en el proyecto según el tiempo empleado, los distintos medios utilizados y recursos dedicados a cada fase del mismo.

- Personal
  - Juan Carlos García Prada. Ingeniero Senior 20 horas (60€/hora) ..... 1.200€
  - Simón Madrigal Comba. Ingeniero Técnico 310 horas (20€/hora) ..... 6.200€
- Hardware
  - Ordenador ..... 650€
- Software
  - Paquete de software Creo Elements ..... 6.000€
  - Office 2007 ..... 140€
- Gastos generales
  - Material de oficina/impresión ..... 100€
  - Desplazamientos, dietas ..... 80€

El coste total asciende a 14.370€. De los cuales 7.400€ son de personal y 6.140€ de software, los dos conceptos que imputan mayor coste al proyecto.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

### **9.1 LIBROS Y PUBLICACIONES**

- López Pita, Andrés. *Infraestructuras Ferroviarias*. Ediciones UPC, 2006.
- Ahrons, E.L. *The British Steam Railway Locomotive 1825-1925*. London: Bracken Books. 1987.
- Goodwin, A. M. *The evolution of the British electric tramcar truck*. London: Tramway and Light Railway Society. 1977.
- Carter, F. W. *The electric locomotive. Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers 221*. London. 1916.
- Wicknes, A. H. *Dynamics of the wheelset*. En: *Fundamentals of rail vehicle dynamics: guidance and stability*. The Netherlands: Swets and Zeitlinger B.V, 2003.
- Álvarez Mántaras, Daniel. Luque Rodríguez, Pablo. *Ingeniería e infraestructura de los transportes, Ferrocarriles*. Universidad de Oviedo, 2003.
- Argüelles Iñiguez, Antonio. *Análisis modal de un eje ferroviario mediante Pro/Engineer*. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2012.
- Manzanque Castellanos, Rubén. *Estudio del comportamiento en curva del Bogie Y25*. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2010.
- PTC University. *Mechanism Design using Pro/Engineer Wildfire 5.0*. Parametric Technology Corporation, 2009. Needham, MA.
- PTC University. *Mechanism Simulation using Pro/Engineer Wildfire 5.0*. Parametric Technology Corporation, 2009. Needham, MA.
- Bosso N., Gugliotta A. y Somà A. *Simulation of a freight bogie with friction dampers* 5th ADAMS/Rails Users' Conference, 2000. Haarlem, The Netherlands.
- D. Andrés Rovira Cardete. *Modelado del contacto rueda-carril para aplicaciones de simulación de vehículos ferroviarios y estimación del desgaste en el rango de baja frecuencia*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2012.
- Álvarez Mántaras, D y Luque Rodríguez, P. *La Vía*. En: *Ingeniería e infraestructura de los transportes*. España: Universidad de Oviedo. 2003, p 17-171.

## **9.2 DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS**

-<http://www.ptc.com/support>

-<http://www.renfe.com/empresa/mercancias/intermodal>

-<http://www.vialibre-ffe.com>

